

*На правах рукописи*

**Келбиханов Руслан Келбиханович**

**СТРУКТУРА И СВОЙСТВА ПЛЕНОК ТЕЛЛУРА, ПОЛУЧЕННЫХ  
В КВАЗИЗАМКНУТОМ ОБЪЕМЕ И С ПРИЛОЖЕНИЕМ  
ПОСТОЯННОГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ**

Специальность 01.04.10 – Физика полупроводников

**А в т о р е ф е р а т**

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата физико-математических наук

**Махачкала – 2008**

Работа выполнена в Государственном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Дагестанский государственный педагогический университет»

**Научный руководитель:** доктор физико-математических наук, профессор  
**Абдурагимов Гаджи Асланович**

**Официальные оппоненты:** доктор физико-математических наук, профессор  
**Богатов Николай Маркович**  
доктор физико-математических наук, профессор  
**Рабаданов Рабадан Абдулкадырович**

**Ведущая организация:** ГОУ ВПО «Воронежский государственный университет»

Защита диссертации состоится «26» сентября 2008 г в 14<sup>00</sup> часов на заседании диссертационного совета Д.212.053.02 при Дагестанском государственном университете в актовом зале по адресу: 367000, Махачкала, ул.М.Гаджиева, 43 а.

С диссертацией можно ознакомиться в научной библиотеке Дагестанского государственного университета.

Автореферат разослан «23» августа 2008 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета,  
доктор физико-математических наук

Курбанисмаилов В.С.

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы.** Разработка и получение полупроводниковых тонкопленочных материалов с заданной структурой и свойствами – одна из важнейших проблем современной физики и техники полупроводников. Поэтому большой научный интерес представляет получение монокристаллических пленок теллура и исследование их свойств. Тонкие пленки широко используются в микроэлектронике и в других областях новой техники. Их отличительной особенностью является конечность толщины, которая может играть решающую роль во многих физических процессах. По своей структуре и свойствам тонкие пленки отличаются от массивных образцов. На рост тонких пленок большое влияние оказывают как технология нанесения, так и материал и структура подложки.

Теллур известен как полупроводниковый материал с узкой запрещенной зоной и привлекает к себе внимание особой чувствительностью к механическим и электрическим воздействиям. Интерес к этому материалу связан с тем, что он, в отличие от широко используемых в электронной технике полупроводников германия и кремния, анизотропен, а проводимость его исключительно *p*-типа.

Работы по совершенствованию технологии получения достаточно однородных монокристаллов теллура, а также бинарных и тройных его соединений на его основе направлены на решение проблемы создания высокоэффективных фотодиодов, инфракрасных фильтров, лазеров и *p*-ветвей высокочувствительных пленочных термобатарей. Высокая фоточувствительность теллура к излучению в инфракрасной области спектра определяет практическую значимость теллура и соединений на его основе и создание приемников *ИК*-излучения и фотосопротивлений. Кроме того, в перспективе эти материалы могут быть использованы для разработки высокоэффективных генераторов Ганна.

В зависимости от условий осаждения структура пленок теллура и соединений на его основе может меняться от сильно разупорядоченной (например, в аморфизированных пленках) до высокоупорядоченной (например, в эпитаксиальных пленках на монокристаллических подложках). Рост пленок с соответствующей структурой в вакууме определяется рядом факторов – способом напыления, температурой подложки, глубиной вакуума, составом остаточных и рабочих газов, скоростью напыления, геометрией вакуумной камеры, наличием электрического и магнитного полей.

**Цель работы:** оптимизация условий получения пленок теллура совершенной структуры методом квазизамкнутого объема и под действием постоянного электрического поля, а также установление закономерностей формирования структуры и электрофизических свойств пленок теллура.

Для достижения этой цели решались следующие задачи:

1. Установление оптимальных условий получения монокристаллических пленок теллура в вакуумном реакторе “квазизамкнутым методом” с применением диафрагм с отверстиями разного диаметра.

2. Реконструкция вакуумного реактора для получения пленок теллура в постоянном электрическом поле и без него в одних и тех же технологических условиях.

3. Выбор оптимальных режимов получения монокристаллических слоев теллура “квазизамкнутым методом”, а также получение совершенных пленок теллура в постоянном электрическом поле и без поля. Определение морфологии и структуры полученных пленок.

4. Проведение комплекса исследований: толщины, скорости роста, анизотропии электросопротивления, значений термо-эдс (до и после отжига) пленок теллура, конденсированных в интервале температур  $300-482\text{ K}$  в постоянном электрическом поле и без поля в единых технологических условиях.

5. Исследование температурных зависимостей удельного сопротивления, подвижности и концентрации носителей пленок, конденсированных при комнатных температурах с приложением поля и без поля, а также частичным приложением поля в единых технологических условиях.

6. Изготовление структур металл-теллур-металл для исследования температурных зависимостей электроемкости и тангенса угла диэлектрических потерь, а также структур медь-слюда-теллур для исследования временных характеристик относительных сопротивлений пленок теллура приложением импульсного и постоянного электрического поля, выращенных в постоянном электрическом поле и без поля.

**Научная новизна** состоит в том, что впервые:

- определены оптимальные условия получения монокристаллических пленок теллура в “квазизамкнутом объеме” в вакууме, разделенном диафрагмой с отверстием диаметра  $1,5\text{ мм}$ ;

- определена характеристическая температура источника испарения теллура ( $T_{II} = 633\text{ K}$ ), выше которой рост пластинчатых кристаллов заменяется ростом столбчатых кристалликов;

- установлено, что влияние постоянного электрического поля на рост и структуру получаемых пленок теллура начинается со значения напряженности электрического поля, равного  $66 \text{ В/см}$ ; наиболее эффективное влияние величины напряженности электрического поля наблюдается при  $1 \text{ кВ/см}$ ; при величине  $2 \text{ кВ/см}$  и выше происходит ухудшение структуры образцов;

- выявлено, что у образцов теллура, полученных в электрическом поле при  $300\div 482 \text{ К}$ , значения скорости роста, толщины и анизотропии электросопротивления существенно отличаются и значительно стабильнее при  $T_{II} = 337\text{-}438 \text{ К}$ , чем у образцов, полученных без поля. Пленки теллура, полученные при температуре подложки  $382 \text{ К}$ , как в постоянном электрическом поле, так и без поля, имеют максимальные значения термо-эдс. Для образцов, выращенных в поле, после их отжига наблюдается относительная стабилизация при  $T_{II} = 337\text{-}438 \text{ К}$ ;

- установлено, что у образцов теллура, полученных в электрическом поле при комнатной температуре, значения удельного сопротивления и концентрация носителей заряда меньше, а их подвижность больше, чем в пленках, выращенных без поля, во всем исследованном температурном интервале  $77,4\text{-}300 \text{ К}$ ;

- показано, что диэлектрические характеристики – емкость и тангенс угла потерь теллура в структуре  $Al\text{-}Te\text{-}Al$ , полученной в электрическом поле, значительно лучше, чем аналогичные характеристики в этой структуре, полученной без поля;

**Практическая ценность** полученных результатов определяется следующим:

- разработана технология получения монокристаллических пленок теллура в вакуумном “квазизамкнутом объеме”, разделенном на две части диафрагмой с отверстием диаметром в  $1,5 \text{ мм}$ . Установлены оптимальные значения температуры подложки и источника, величины вакуума и скорости роста пленок, позволяющие получать пленки совершенной структуры на ориентирующих подложках. Пленки монокристаллического теллура могут быть использованы для получения компонентов электронной техники;

- разработан метод получения пленок в электрическом поле со стабильными электрофизическими свойствами и значениями термо-эдс, которые могут быть использованы в качестве  $p$ -ветви термоэлектрического преобразователя.

## Основные положения, выносимые на защиту:

1. Оптимальными режимами, позволяющими методом квазизамкнутого объема получать монокристаллические пленки *Te* высокого совершенства, являются следующие:

- а) для температур источника  $T_{II} = 633 \div 693 \text{ K}$  и подложки  $T_{II} = 290 \div 310 \text{ K}$  расстояние от подложки до диафрагмы 2 мм;
- б) для температур источника  $T_{II} = 759 \div 763 \text{ K}$  и подложки  $T_{II} = 298 \div 303 \text{ K}$  расстояние от подложки до диафрагмы 25 мм.

Диаметр отверстия диафрагмы в обоих режимах – 1,5 мм.

2. Применение постоянного электрического поля напряженностью 1 кВ/см с изменением температуры подложки в пределах 300-482 К при выращивании ориентированных пленок *Te* дает возможность управлять процессом роста пленок, а именно:

- а) осуществлять рост пленок с постоянной скоростью и получать пленки постоянной толщины;
- б) стабилизировать величину анизотропии электросопротивления пленок;
- в) стабилизировать термо-эдс пленок теллура;
- г) понижать плотность поверхностных состояний, что позволяет получать структурно совершенные пленки *Te*.

3. Постоянное электрическое поле напряженностью 1 кВ/см при выращивании ориентированных пленок *Te* при комнатной температуре влияет на электрофизические свойства пленок:

- а) уменьшает удельное сопротивление  $r$  пленок;
- б) уменьшает концентрацию  $n$  носителей пленок;
- в) уменьшает термо-эдс  $\alpha$  пленок;
- б) увеличивает подвижность  $\mu$  носителей, что делает возможным управление свойствами пленок *Te* с помощью электрического поля.

4. Структуры *Al-Te-Al*, полученные в электрическом поле, имеют значения емкости и тангенса угла потерь, характерные для высококачественных конденсаторов ( $\text{tg } \delta \leq 0,1\%$ ).

**Апробация работы.** Основные результаты исследования докладывались на: научных сессиях и конференциях преподавателей и сотрудников ДГПИ (ДГПУ) (Махачкала, 1984,1987,1988,1991,1996-2004); Научной сессии Дагестанского ФАН СССР, посвященной итогам фундаментальных и прикладных исследований (Махачкала, Дагестанский ФАН

СССР, 1988); Международной конференции “Фазовые переходы и критические явления в конденсированных средах” и на III Международном семинаре “Магнитные фазовые переходы”, посвященном памяти академика А.С.Боровика-Романова (Махачкала, ДНЦ РАН, 1998); Международной конференции “Достижения и современные проблемы развития науки в Дагестане”, посвященной 275-летию РАН и 50-летию ДНЦ РАН (Махачкала, ДНЦ РАН, 1999); Международной конференции “Фазовые переходы и нелинейные явления в конденсированных средах”, посвященной памяти академика Б.Б. Кадомцева, и на IV Международном семинаре “Физика магнитных фазовых переходов”, посвященном 90-летию академика С.В.Вонсовского (Махачкала, ДНЦ РАН, 2000); Международной конференции “Фазовые переходы, критические и нелинейные явления в конденсированных средах” и на V Международном семинаре “Магнитные фазовые переходы”, посвященном памяти К.П. Белова (Махачкала, ДНЦ РАН, 2002); Всероссийской научной конференции “Физика полупроводников и полуметаллов” (Санкт-Петербург, РГПУ им. Герцена, 2002); Международной конференции “Фазовые переходы, критические и нелинейные явления в конденсированных средах” (Махачкала, ДНЦ РАН, 2004); Межвузовской конференции аспирантов “Естественные науки” (Махачкала, ДГПУ, 2006); IV Всероссийской конференции по физической электронике (Махачкала, ДГУ, 2006); научных семинарах кафедры общей и экспериментальной физики Российского государственного педагогического университета им. А.И. Герцена (Санкт-Петербург, 1991-1992); научных семинарах кафедры общей и экспериментальной физики, кафедры теоретической физики и технических дисциплин физического факультета ДГПИ (ДГПУ) (Махачкала, 1989, 1992-1998, 2002-2004, 2006).

**Публикации.** Материалы по диссертационной работе опубликованы в 28 статьях, из них 15 изданы в центральной и республиканской печати и 13 тезисов докладов и выступлений на региональных конференциях и семинарах. Одна статья опубликована в журнале «Известия АН СССР. Неорганические материалы», 1 статья в журнале «Физика и химия обработки материалов», 3 статьи депонированы в ВИНТИ, и 10 статей – в материалах Международных и Всероссийских конференций.

**Структура и объем диссертации.** Диссертация состоит из введения, 4 глав, выводов. Общий объем – 147 страниц, в том числе 50 рисунков, 4 таблицы. Список цитированной литературы содержит 172 наименования.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**Во введении** обоснована актуальность темы диссертационной работы, сформулирована ее цель и задачи исследования, обоснованы научная новизна и практическая значимость результатов, обозначены положения, выносимые на защиту.

**В первой главе** анализируются известные экспериментальные и теоретические работы, посвященные вопросам получения тонких пленок теллура, исследованию электрофизических свойств и термо-эдс, методам получения и основным факторам, определяющим рост пленок. Обращается внимание на то, что электрическое поле на первой стадии роста пленки оказывает ориентирующее влияние на миграцию атомов в направлении каналов миграции, после срастания островков его влияние уменьшается. Влияние магнитного поля на рост и совершенство сверхтонкой пленки значительно меньше. Получение сплошных электропроводящих сверхтонких пленок обеспечивается малой скоростью осаждения, наличием внешнего электрического и магнитного полей.

**Вторая глава** посвящена методике экспериментов. Приведены усовершенствованные нами схемы установок для выращивания и исследования электрофизических свойств пленок с применением специального приспособления для получения монокристаллических пленок.

С целью устранения некоторых недостатков в конструктивном оформлении метода квазизамкнутого объема, изыскания возможности контроля времени осаждения с точной фиксацией начала и конца эксперимента, с ликвидацией переходного процесса (при установлении режима осаждения), нами разработана конструкция реактора и соответствующая ей технология, которые позволяют эффективно регулировать параметры процесса осаждения. Данная установка обеспечивает воспроизводимость технологических условий процесса выращивания. Особенность конструкции состоит в использовании микрообъема реактора, в котором осуществляется выращивание пленок в “стерильных” условиях. Температура измеряется с точностью до  $0,01^\circ$ , и поддерживалась регулятором температуры *BPT-2* и тиристорным усилителем *У-252*. Другая реконструированная установка обеспечивала возможность роста пленок в электрическом поле.

Измерения электрофизических свойств производились хорошо апробированными методами.

**В третьей главе** представлен материал по получению и исследованию пленок теллура, выращенных в условиях высокого вакуума “квазизамкнутым методом”, а



также результаты электронно-микроскопических исследований пленок. Установлена функциональная связь между структурой и условиями их получения. Представлены результаты исследования структуры и измерения электрофизических свойств пленок до и после длительной выдержки их на воздухе.

Электронно-микроскопические, оптические и металлографические исследования позволяют утверждать, что пленки теллура, полученные в квазизамкнутом объеме с применением диафрагмы с отверстием  $1,5 \text{ мм}$  на пути источник-подложка, состоят из пластинчатых кристаллитов. Критические размеры таких кристаллитов составляют  $10\text{-}20 \text{ мкм}$ . Средний размер отдельного кристаллика является функцией скорости роста, зависящей в свою очередь от величины пересыщения. При  $T_{II}=633 \text{ К}$  скорость роста равна  $4 \text{ \AA/с}$ , с увеличением температуры  $T_{II}$  на  $40 \text{ К}$  скорость роста увели-

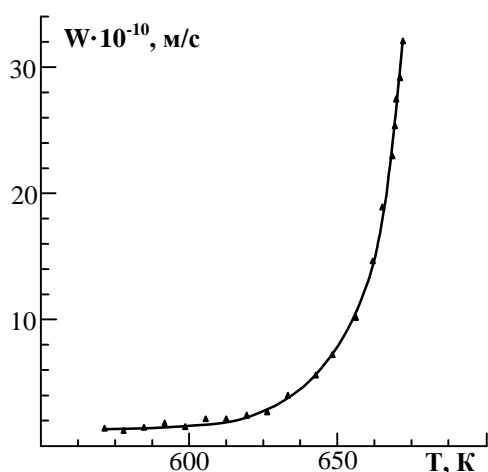


Рис.1. Зависимость скорости роста пленок теллура от температуры источника.

чивается в  $\sim 8$  раз, для образцов с зеркальной поверхностью (рис.1). Наш опыт показывает, что на плоскости скола слюды, находящейся на расстоянии  $2 \text{ мм}$  от диафрагмы, необходимым условием формирования пленки теллура, состоящей из плоских кристалликов и обладающей зеркально гладкой поверхностью – монокристаллической структурой, является значение скорости роста  $(0,2\text{-}2) \text{ \AA/с}$ , что наблюдается при  $T_{II}=633\text{-}693 \text{ К}$  и  $T_{II}=293 \text{ К}$ . Скорость роста самих кристалликов линейно за-

висит от пересыщения. Если пересыщение превосходит некоторую критическую величину, которая имеет место при  $T_{II} = 633 \text{ К}$ , то наблюдается торможение роста пластинчатых кристалликов и увеличение скорости их роста по нормали к поверхности подложки.

Для изучения возможности применения квазизамкнутого объема для получения пленок  $Te$  были проведены эксперименты с изменением расстояния источник-подложка от  $2$  до  $60 \text{ мм}$ . При этом с учетом предыдущих экспериментов пленки конденсировались при измененных условиях: температуру источника  $Te$  варьировали в пределах  $473\text{-}873 \text{ К}$ , а температуру подложки –  $293\text{-}673 \text{ К}$ .

Монокристаллические пленки совершенной структуры с малыми значениями концентрации носителей были получены в квазизамкнутом объеме на ориентирую-

щей подложке, находящейся от диафрагмы с отверстием диаметра 1,5 мм на расстоянии 25 мм, при температурах  $T_{II} = 759-763 \text{ K}$ ,  $T_{II} = 298-303 \text{ K}$ .

Повторные измерения электрофизических свойств пленок теллура были проведены после годичного хранения их на воздухе при комнатной температуре. Было обнаружено существенное изменение их параметров. В результате измерений установлено уменьшение удельного сопротивления, концентрации носителей заряда и увеличение их подвижности в 2 и более раза.

Исходя из преобладающего типа химической связи в самом теллуре и условий хранения его тонких пленок в контакте с воздухом, для удовлетворительного объяснения наблюдаемых в эксперименте явлений приходится предположить, что в начальный момент на поверхности пленок происходит быстрая адсорбция ( $\tau \sim 10^{-7} \text{ с}$ ) таких электроактивных компонентов воздуха, как  $O_2$ ,  $H_2O$ ,  $CO$ .

Часть физически адсорбированных молекул, например, кислорода может перейти в хемосорбированное состояние по реакции:



Очевидно, этот эффект будет тем более выражен, чем больше эффективная площадь адсорбции, что действительно подтверждает результаты нашего эксперимента. В условиях длительного хранения (около года) относительное уменьшение удельного сопротивления и концентрации носителей заряда меньше в пленках с зеркально гладкой поверхностью, чем в пленках черного цвета, состоящих из кристалликов, вытянутых по нормали к поверхности подложки.

Свободные связи на поверхности теллура с преобладающей ковалентной химической связью при комнатной температуре в процессе адсорбции кислорода не могут привести к образованию ни  $TeO$ , ни  $TeO_2$ , но вызывают существенный поверхностный дипольный момент.

Такая модель адсорбции достаточно хорошо описывает кинетику перехода физически адсорбированных атомов  $O_2$  в хемосорбированное состояние и кинетику изменения параметров пленок теллура по времени хранения. Такие же изменения наблюдали авторы [1], и поэтому процесс адсорбции электроактивных компонентов воздуха на поверхности теллура можно активировать нагревом образца выше  $60^\circ \text{C}$  как и в [2].

Далее, вакуумированием и последующим нагревом значение удельного сопротивления можно было вернуть к исходной величине. Данный факт указывает на то,

что адсорбция  $O_2$ , наблюдаемая при комнатной температуре, на поверхности теллура является обратимой.

**Четвертая глава** посвящена исследованию пленок теллура, полученных в условиях вакуумного осаждения с приложением электрического поля. Рассчитаны и определены нижние и верхние значения напряженности электрических полей, при которых ощутимо их влияние на свойства и структуру пленок теллура. Предложен новый метод получения пленок с более совершенными структурами путем изменения температуры подложки и приложением постоянного электрического поля напряженностью  $1 \text{ кВ/см}$ . Проведенные эксперименты по исследованию влияния элек-

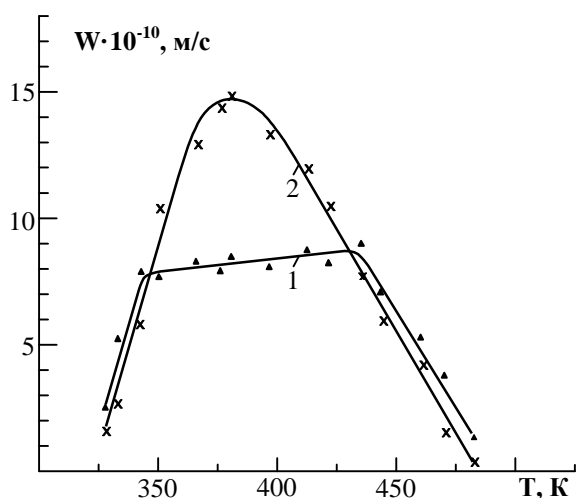


Рис.2. Зависимость скорости роста пленок теллура от температуры подложки:  
1(▲) — пленки получены в электрическом поле,  
2(x) — пленки получены без электрического поля.

трических полей на рост и электрофизические свойства пленок теллура, конденсированных на подложках слюды вакуумно-термическим методом, показали существенное различие электрофизических свойств образцов, полученных в поле и без электрического поля.

На рис.2 показана зависимость скорости роста от температуры подложки. Как видно из рисунка, зависимость скорости роста для

пленок, полученных без электрического поля, носит обычный характер с максимумом при определенной температуре. Уменьшение скорости роста и толщины пленок с повышением температуры подложки определяется, в основном, реиспарением осаждаемого материала с поверхности подложки. В то же время, скорость роста и толщина пленок, выращенных в электрическом поле, остается относительно постоянной величиной в определенном интервале температур. Таким образом, при конденсации пленок в электрическом поле температура подложки становится менее действенным параметром. Поэтому приложение электрического поля позволяет расширить интервал температуры, в котором можно получить пленки с заданными характеристиками (в частности, толщину пленки). Причиной относительной неизменности скорости роста пленки в электрическом поле с изменением температуры подложки является

уменьшение вероятности образования кластеров из трех и более атомов и усиление образования комплексов в виде цепочек в структуре растущей пленки теллура.

Анизотропию электросопротивления пленок оценивали по разности сопротивлений, измеренных в двух взаимно перпендикулярных направлениях ( $DR$ ). Величина  $DR$  почти постоянна в пленках, полученных в электрическом поле, практически не зависит от температуры подложки, в отличие от пленок, выращенных без приложения электрического поля. В пленках, выращенных без электрического поля, предпочтительная ориентация роста зависит от температуры подложки, которая, в свою очередь влияет на степень рекристаллизации первичной растущей пленки. Однако степень рекристаллизации зависит не только от  $T_{II}$ , но и от других факторов. Первичная структура пленки определяется не ориентирующим влиянием подложки, а особенностями атомно-кристаллической структуры  $Te$  и механизмами формирования пленок на начальной стадии роста, что подтверждается нашими и исследованиями других авторов.

Наблюдаемое уменьшение  $DR$  для образцов, выращенных в электрическом поле, связано с выводом полем электрически активных примесей из пленки, что уменьшает их влияние на анизотропию ее свойств, так как электрическое поле создает определенные условия для роста кристаллитов с реализацией ковалентной связи по направлению линий напряженности электрического поля.

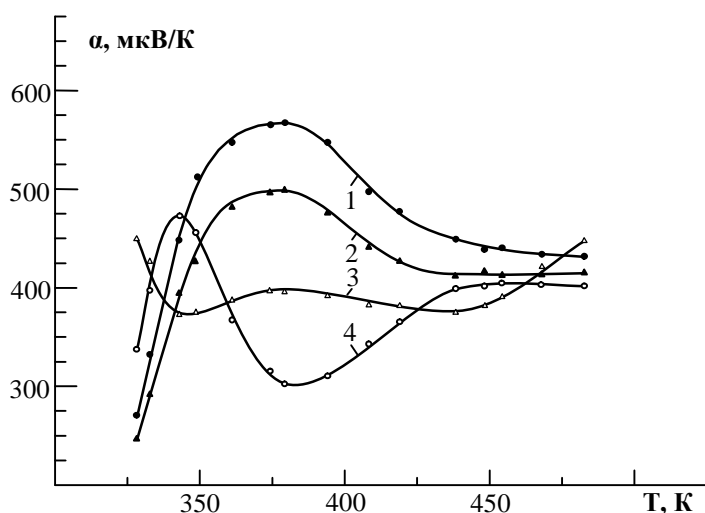


Рис.3. Зависимость термо-эдс пленок теллура от температуры подложки:  
 1,4 – пленки получены без электрического поля,  
 1(●) – до отжига и 4(○) – после отжига;  
 2,3 – пленки получены в электрическом поле,  
 2(▲) – до отжига и 3(Δ) – после отжига.

На рис.3. приведены зависимости термо-эдс ( $\alpha$ ) пленок, выращенных без поля и в электрическом поле. Значение термо-эдс выше для образцов, полученных без поля. После длительного (в течение 7 суток) отжига при температуре 373,15 К термо-эдс образцов существенно снижается за счет изменения вклада подвижности носителей заряда разного знака. Уменьшение  $\alpha$  связано с концентрацией дырок в пленках, а отжиг приводит к их

рекристаллизации и возрастанию электропроводности.

С целью установления взаимосвязи между условиями получения пленок теллура, совершенством их структуры и свойствами в работе были исследованы удельное сопротивление, подвижность и концентрация носителей заряда пленок теллура при низких температурах в температурном интервале  $77,4-300\text{ K}$ , выращенных на слюде вакуумно-термическим методом при комнатной температуре. Данные образцы были получены при  $T_{II} = 720 \div 732\text{ K}$ , в вакууме  $6,66 \cdot 10^{-3}\text{ Па}$ . Обнаружено существенное различие значений удельного сопротивления, концентрации и подвижности носителей заряда в данном температурном интервале для образцов, полученных в поле напряженностью  $1\text{ кВ/см}$  и без электрического поля в едином технологическом режиме.

На рис.4 приведена усредненная зависимость удельного сопротивления от температуры для второй серии образцов, полученных в электрическом поле и без него при температуре  $T_{II} = 732\text{ K}$ . Величина удельного сопротивления образцов, полученных в электрическом поле, меньше, чем у пленок, выращенных без поля, во всем температурном интервале. Эта разница уменьшается с повышением температуры до

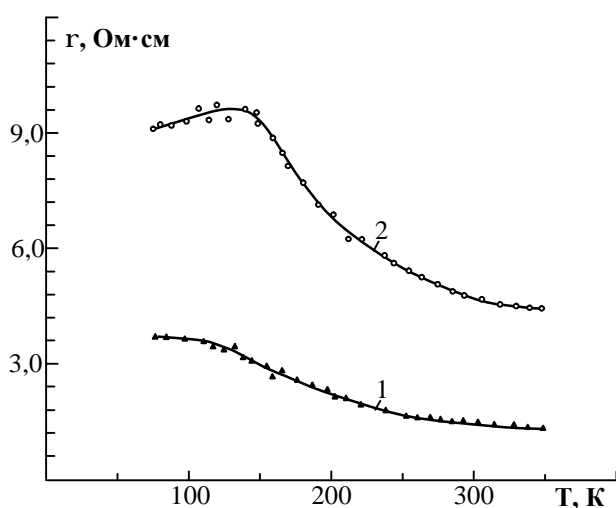


Рис.4. Зависимость удельного сопротивления пленок теллура, выращенных при  $T_{II}=732\text{ K}$ , от температуры:  
 1(▲) — пленки получены в электрических полях,  
 2(○) — пленки получены без электрического поля.

$300\text{ K}$ . Аналогичная зависимость наблюдается и для первой серии образцов, выращенных при  $T_{II} = 720\text{ K}$ , для которых абсолютные значения удельного сопротивления в несколько раз выше. Однако различные абсолютные значения удельных сопротивлений пленок в этих двух случаях обусловлены разницей толщин ( $d$ ) и различием температур источника. Так,  $d$  для образцов, выращенных без поля при

$T_{II} = 720\text{ K}$ , равна  $0,16\text{ мкм}$ , при  $T_{II} = 732\text{ K}$  —  $0,24\text{ мкм}$ , а значения  $d$  для образцов, выращенных в поле при этих температурах в одном технологическом режиме соответственно равны  $0,27\text{ мкм}$  и  $0,60\text{ мкм}$ .

Для того чтобы определить возможность влияния на электрофизические свойства образцов разогревание источника, мы в очередном эксперименте  $T_{II}$  довели до значения  $793,15\text{ K}$  ( $520^\circ\text{C}$ ), что больше температуры плавления теллура ( $450^\circ\text{C}$ ), а

затем после снижения  $T_H$  до  $732\text{ K}$  произвели напыление. Величина вакуума в данном случае была та же, что и в предыдущих экспериментах ( $6,66 \cdot 10^{-3}\text{ Па}$ ). Температурные зависимости удельного сопротивления для данной (третьей) серии образцов показали, что при  $300\text{ K}$  значения  $r$  снизились до значений  $0,025\text{ Ом}\cdot\text{см}$ , для пленок, конденсированных в поле, и до значений  $0,15\text{ Ом}\cdot\text{см}$  – для пленок, полученных без поля.

Одним из возможных механизмов влияния электрического поля на удельное сопротивление и различие в его значениях в случае выращивания в поле и без него, связано с поляризацией атомов  $Te$ . Поляризация атомов приводит к выстраиванию цепочек атомов теллура в определенный ряд в соответствии с полярностью атомов. Следующий слой по данному механизму должен начинаться после завершения первого слоя и т.д. Таким образом, удельное сопротивление определяется завершением и укладкой того или иного слоя. Для пленок  $Te$ , конденсированных при комнатной температуре, критическая толщина превышает  $300\text{ \AA}$ , но является смешанной (первично рекристаллизационной) у пленок большей толщины.

Из зависимостей  $m(T)$  для образцов первой, второй и третьей серий экспериментов прослеживается отличие в значениях  $m$  для образцов, выращенных в электрическом поле и без него. Так, значения  $m$  для пленок теллура, полученных при воздействии поля, превышают значения  $m$  для образцов, выращенных без поля. Подвижность дырок в пленках  $Te$ , полученных в электрическом поле, увеличивается с повышением температуры в низкотемпературной области до  $200\text{ K}$  для образцов первой (рис.5) и третьей (рис.6) серии экспериментов и до  $160\text{ K}$  для образцов второй серии экспериментов, что говорит о том, что рассеяние дырок происходит в основном на ионизированных центрах ( $\mu \sim T^{3/2}$ ), которые можно ассоциировать с дефектами, захватившими электроны из валентной зоны.

В высокотемпературной области подвижность дырок в пленках теллура уменьшается, так как заметное влияние на величину подвижности оказывает рассеяние на тепловых колебаниях решетки ( $\mu \sim T^{-3/2}$ ). Хотя в третьей серии экспериментов по достижении своего максимального значения при  $200\text{ K}$  подвижность уменьшается до минимального значения в пределах  $250\text{ K}$ . При дальнейшем увеличении температуры образца снова наблюдается увеличение подвижности дырок, которые были в состоянии захвата в локальных и в более стабильных состояниях. Данные температурные зависимости подвижности характерны для невырожденных полупроводников и обусловлены как рассеянием на ионах, так и рассеянием на фононах.

Значения  $m$  носителей заряда для рассмотренных выше образцов, выращенных в электрическом поле, больше значений  $m$  носителей заряда для образцов, выращенных без поля. Поэтому следовало бы ожидать меньшие значения концентрации ( $n$ ) носителей заряда у образцов, выращенных в электрическом поле, что и подтверждается температурными зависимостями  $n$  для всех трех серий экспериментов. Значение  $n$  носителей заряда по абсолютной величине больше у образцов, полученных без поля. В этом случае  $n$  с температурой растет. Начиная с  $210\text{ K}$ , дальнейший рост  $n$  прекращается. Значение  $n$  образцов первой серии экспериментов, выращенных в поле, меняются от  $4,2 \cdot 10^{15}\text{ см}^{-3}$  до  $3,0 \cdot 10^{16}\text{ см}^{-3}$ ; а для образцов, выращенных без поля, – от  $3,0 \cdot 10^{16}\text{ см}^{-3}$  до  $3,0 \cdot 10^{17}\text{ см}^{-3}$ . Для образцов второй серии экспериментов, полученных при  $732\text{ K}$ , значения  $n$  меняются от  $2,0 \cdot 10^{15}\text{ см}^{-3}$  до  $0,5 \cdot 10^{16}\text{ см}^{-3}$  у образцов, выращенных в поле, и от  $9,5 \cdot 10^{15}\text{ см}^{-3}$  до  $6,2 \cdot 10^{17}\text{ см}^{-3}$ , для образцов – без поля.

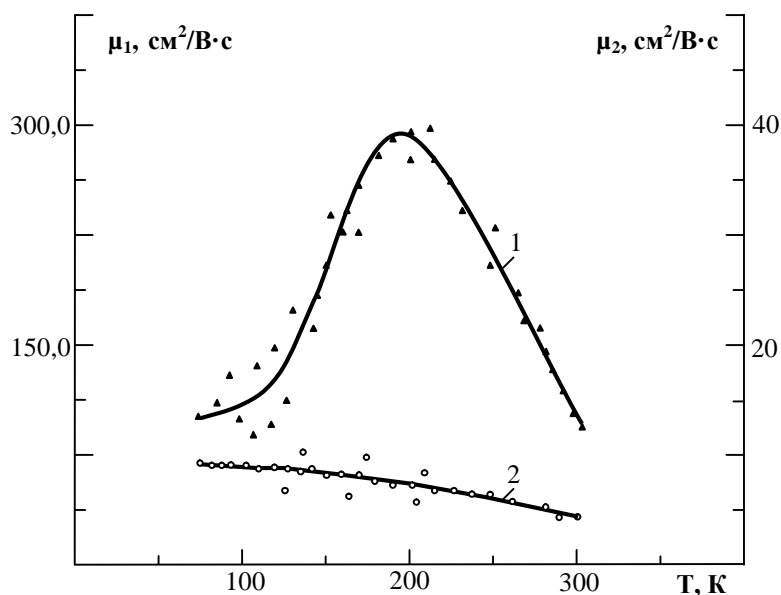


Рис.5. Зависимость подвижности носителей заряда в пленках теллура, выращенных при  $T_H = 720\text{ K}$ , от температуры:  
1(▲) – пленки получены в электрическом поле,  
2(○) – пленки получены без электрического поля.

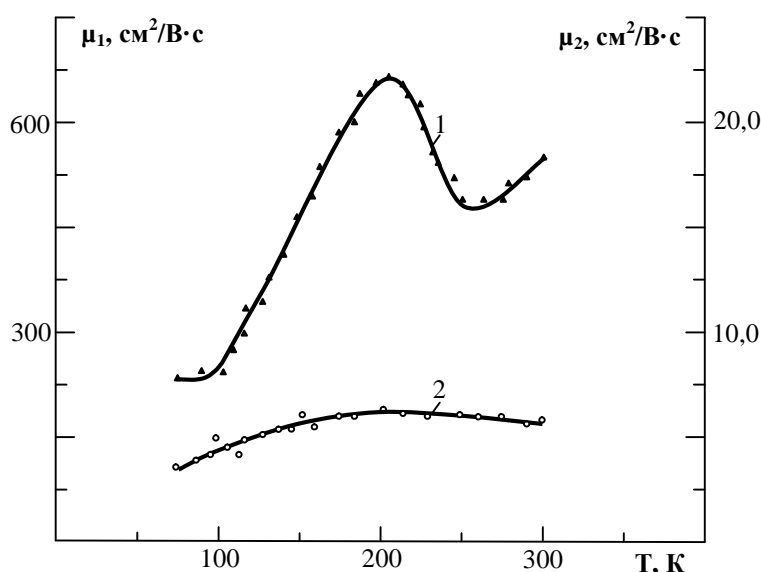


Рис.6. Зависимость подвижности носителей заряда в пленках теллура, выращенных при  $T_H = 732\text{ K}$  (предварительный разогрев источника до  $793,15\text{ K}$ ), от температуры:  
1(▲) – пленки получены в электрическом поле,  
2(○) – пленки получены без электрического поля.

Для образцов третьей серии экспериментов, выращенных при  $732\text{ K}$ , значения  $n$  по сравнению с предыдущими двумя сериями экспериментов отличаются на  $1-2$  порядка, что связано с тем, что при разогреве осуществляется разрыв гомеоплярных связей и при образовании его конденсата могут быть унаследованы состояния, характерные для

жидкого теллура. Это связано с частичным сохранением ковалентных связей, которые объединяют атомы теллура в цепочке. При этом длина цепочек оказывается функцией температуры. При  $T_{\text{ПЛАВ}}$  их величина значительна, но с увеличением температуры цепочки становятся мельче. Разрыв цепочек приводит к сильному увеличению концентрации дефектов решетки. В теллуре перед самым плавлением дефекты обладают акцепторными свойствами, если они существуют в виде комплексов, следовательно, плавление приводит к росту концентрации дырок. Данной концентрации дефектов соответствует определенная подвижность. В связи с этим высокая температура, при которой находится лигатура, способствует размельчению цепочки теллура. А электрическое поле в ходе выращивания пленок не способно существенно изменить величину связи между атомами, чем и обусловлены большие значения концентрации в этом случае по сравнению с другими случаями. Так, значение  $n$  в этом случае менялось от  $1,6 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$  до  $4,1 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$  для образцов, полученных в поле, и от  $5,0 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$  до  $9,3 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$  – без поля в температурном интервале  $77,4\text{--}300 \text{ К}$ . Поэтому в более совершенных по структуре пленках, образующихся при высоких температурах конденсации, соответственно ниже концентрации дырок и выше их подвижности. А низкие значения подвижности дырок в пленках, выращенных без поля, можно объяснить на основании изменения степени дефектности структуры теллура в зависимости от температуры. По нашему мнению, подвижность дырок в пленках, конденсированных при высоких температурах, лимитируется рассеянием на границах зерен, а в пленках, конденсированных при низких температурах, – на дефектах их структуры.

Пленки теллура обладают дырочной проводимостью. На этом основании можно заключить, что поверхностные уровни теллура являются в основном акцепторами. Концентрация носителей в пленках теллура в области примесной проводимости не возрастает с увеличением температуры. Отсюда следует, что поверхностные уровни теллура располагаются весьма близко над заполненной зоной.

Для управления свойствами получаемых образцов весьма важным является понимание природы термо-эдс и ее исследование. В связи с этим были проведены температурные исследования термо-эдс пленок теллура. Обнаружено существенное различие значений термо-эдс пленок  $Te$ , выращенных в электрическом поле напряженностью  $1 \text{ кВ/см}$  и без поля на подложках слюды вакуумно-термическим методом при комнатной температуре и  $T_H = 720 \div 741 \text{ К}$  в вакууме  $6,66 \cdot 10^{-3} \text{ Па}$ , при исследовании в температурном интервале  $288\text{--}425 \text{ К}$ .



Значение  $\alpha$  для первой серии образцов, выращенных в ПЭП и без поля при  $T_H = 720 \text{ K}$ , достигает максимального значения при  $363 \text{ K}$  и при дальнейшем увеличении температуры  $\alpha$  не изменяется, а само значение  $\alpha$  изменяется от  $165$  до  $250 \text{ мкВ/К}$  для образцов, выращенных в ПЭП, и от  $147$  до  $304 \text{ мкВ/К}$  – для образцов, выращенных без поля в температурном интервале  $288\text{-}425 \text{ K}$ .

Аналогичный выход на насыщение  $\alpha$  при  $363 \text{ K}$  наблюдается во второй и в третьей серии экспериментов, где образцы выращены при  $732 \text{ K}$  и  $734 \text{ K}$ , так во второй серии значение термо-эдс меняется от  $140$  до  $240 \text{ мкВ/К}$  для образцов, полученных в поле, и от  $125$  до  $270 \text{ мкВ/К}$ , – для образцов, полученных без поля и в третьей серии экспериментов  $\alpha$  меняется от величины  $150$  до  $240 \text{ мкВ/К}$  для образцов, полученных в поле и от  $65$  до  $275 \text{ мкВ/К}$  – для образцов, полученных без поля.

В четвертой серии экспериментов, где образцы выращены при  $741 \text{ K}$ , максимального значения  $\alpha$  достигают при  $350 \text{ K}$  и в дальнейшем незначительно увеличивается. Термо-эдс меняется в пределах  $115\text{-}240 \text{ мкВ/К}$  для образцов, полученных в поле, и в пределах  $78\text{-}265 \text{ мкВ/К}$  – для образцов, полученных без поля в интервале  $288\text{-}425 \text{ K}$

Из выше приведенных результатов заметно, что при прочих равных условиях электрическое поле существенно влияет на формирование пленок теллура. В общем случае наблюдается небольшое изменение термо-эдс в зависимости от толщины образцов, полученных как в поле, так и без его воздействия.

Различие термо-эдс образцов, выращенных в электрическом поле и без него можно объяснить тем, что поры и трещины могут закрываться при выращивании пленок в электрическом поле. Таким образом, можно считать, что термо-эдс пленок  $Te$  определяется главным образом их структурной дефектностью, которая в свою очередь зависит от условий конденсации.

Увеличение термо-эдс пленок поддается интерпретации в предположении, что с увеличением давления возрастает вклад, во-первых, параметра рассеяния, во-вторых, возрастает роль оксидной фазы. Таким образом, если для пленок, выращенных в поле, термо-эдс возрастет в результате увеличения только параметра рассеяния, то без поля ответственным за повышение термо-эдс может быть как образование новой фазы, так и увеличение параметра рассеяния. Микросталлики новой фазы могут способствовать возникновению потенциальных барьеров между кристалликами, которые, в свою очередь, способствуют увеличению термо-эдс до аномально больших значений.

Так, в работе Покровского более подробно рассчитаны возможности формулы Писаренко, а данные о пределах практической применимости ее приводятся в работе Конторовой, которая может быть использована для вычисления термо-эдс полупроводниковых материалов, обладающих более высокой концентраций носителей тока, включая область вырождения. Концентрация носителей заряда и термо-эдс непосредственно связаны с параметром рассеяния. Общая связь между данными тремя параметрами дается формулой Писаренко:

$$\alpha = \pm \frac{k}{e} \left\{ A - \ln n + \ln \left[ \frac{2 (2\pi m^* kT)^{3/2}}{h^3} \right] \right\}, \quad (2)$$

где  $T$  – температура,  $m^*$  – эффективная масса электрона(дырки),  $h$  – постоянная Планка,  $k$  – постоянная Больцмана, а  $A$  – постоянный член (параметр рассеяния), в зависимости от характера рассеяния носителей тока в кристалле принимает значение от 2 до 4. Для теллура  $A = 3\pi/8 @ 1,18$ .

В нашем случае хорошее согласие расчетных данных термо-эдс с экспериментальными значениями термо-эдс получается при использовании формулы (2), если принять значение  $m^*=0,05 m_0$  для условий получения образцов при комнатной температуре.

При получении образцов при  $T_{II} = 382 K$  такое же согласие наблюдается при значении  $m^* = 0,0127 m_0$ , если пленки получены в поле напряженностью  $1 kB/cm$ . Для пленок, полученных без электрического поля в этих же условиях ( $T_{II} = 382 K$ ), совпадение расчетных величин термо-эдс с экспериментальными его значениями наблюдается, если принять  $m^* = 0,0151 m_0$ .

Активационные зависимости концентрации носителей заряда и электросопротивления пленок теллура связаны с наличием поверхностных состояний, располагающихся в запрещенной зоне на расстоянии  $\sim 0,048 эВ$  от потолка валентной зоны. Полагая, что области пространственного заряда занимают весь объем пленки теллура толщиной  $300 \text{ \AA}$ , из соотношения [3]:

$$N_s = \frac{(n - n_0)d}{2}, \quad (3)$$

где  $N_s$  – плотность заряженных поверхностных состояний,  $n$  – наблюдаемая концентрация носителей в пленке толщиной  $d$ ,  $n_0$  – равновесная концентрация носителей заряда в объеме пленки, оценили плотность поверхностных состояний и путем экстр-

раполяции прямых 1 и 2 (рис.7) к ординате  $n \cdot d$  нашли значения  $N_s = 4 \cdot 10^8 \text{ см}^{-2}$  для пленок, выращенных в ПЭП, и  $N_s = 2 \cdot 10^9 \text{ см}^{-2}$  – для образцов, выращенных без поля. Отличие значений  $n \cdot d$ , полученных нами, от значений ( $N_s = 5 \cdot 10^{11} \text{ см}^{-2}$ ), полученных в работе [3] при условии, что  $n_0 = 2 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$ , от значений, определенных снятием вольтфарадовых характеристик МДП структур в [4] ( $N_s \sim 8 \cdot 10^{11} \text{ см}^{-2}$ ), а также от значений ( $(1,4) \cdot 10^{11} \text{ см}^{-2}$ ), установленных по измерениям эффекта поля в кристаллах [5], говорит о более высоком структурном совершенстве полученных нами пленок. Особенно обращает на себя внимание то, что повышение указанных характеристик в области малой толщины от структуры явно не зависит, поскольку здесь размер зерен практически не зависит от толщины. Наблюдаемые нами изменения параметров пленок малой толщины, по нашему мнению, больше связаны с поверхностными состояниями. А так как поверхностные состояния теллура имеют акцепторную природу, то поверхность теллура заряжена отрицательно и поверхностные слои оказываются обогащенными дырками. Поэтому подвижность дырок в приповерхностных слоях меньше, чем в объеме образца, счет диффузного рассеивания их поверхностью.

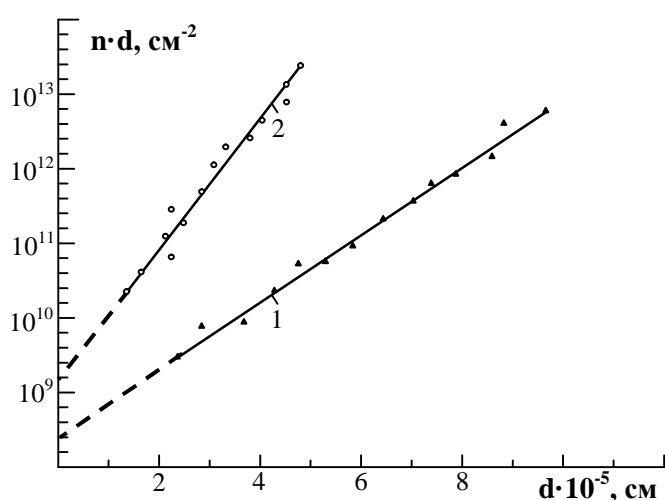


Рис.7. Зависимость числа носителей заряда  $n \cdot d$  в пленках теллура, конденсированных при комнатных температурах от толщины  
1( $\blacktriangle$ ) – пленки получены в электрическом поле,  
2( $\circ$ ) – пленки получены вне электрического поля.

Следовательно, поверхностные слои будут обладать свойствами, отличными от соответствующих свойств объема. Приповерхностные слои вносят свой вклад в наблюдаемые свойства образцов в большей степени, чем меньше толщина образцов. Полученные данные позволяют определить плотность заряженных поверхностных состояний по зависимости концентрации дырок пленок от толщины.

Выбор способа осаждения должен основываться на совместимости данного метода с другими способами, необходимыми для изготовления приборов. Широкое исследование диэлектрических свойств пленок может дать полную информацию о пленках с лучшими свойствами.

Обычно используются алюминиевые электроды, полученные напылением, которые дают локализованный пробой. В этом случае изучение влияния технологиче-

ских условий получения на диэлектрические свойства структур алюминий-теллур-алюминий позволяет связывать диэлектрические свойства с параметрами технологического процесса и определенным функциональным их назначением.

Для этой цели нами были получены структуры алюминий-теллур-алюминий ( $Al-Te-Al$ ) и исследованы диэлектрические свойства. Обнаружено различие диэлектрических свойств – емкости ( $C$ ) и тангенса угла диэлектрических потерь ( $tg d$ ) в слоях теллура, полученных в электрическом поле напряженностью  $1 \text{ кВ/см}$  и без него в области температур  $288 \div 450 \text{ K}$  при нагревании и охлаждении.

Для пленок, полученных в поле при  $370 \text{ K}$ , и при  $360 \text{ K}$  для пленок, выращенных без поля величина  $C(T)$  достигает насыщения. Обратный ход кривой  $C(T)$  (при охлаждении) свидетельствует о необратимых релаксационных процессах, которые наблюдаются для образцов, полученных под воздействием поля и без электрического поля. Следует отметить, что обратный ход кривой для образцов, выращенных в электрическом поле, по характеру подобен ходу кривой, соответствующей нагреванию, в отличие от аналогичных зависимостей для пленок, выращенных без поля. Это говорит о том, что релаксационные процессы для образцов, выращенных без поля, проходят более интенсивно. В таком случае, можно было ожидать и большее значение тангенса угла потерь для таких образцов, по сравнению с образцами, выращенными в поле. Действительно, значение тангенса угла потерь больше для образцов, выращенных без поля.

Эффект поля для поверхности полупроводника существенен только тогда, когда вклад поверхностного рассеяния в проводимость значителен, как, например, в пленке, толщина которой сопоставима с длиной свободного пробега. Таким образом, эффект поля должен проявляться как некая разновидность размерного эффекта. Поэтому по результатам исследования эффекта поля можно судить о степени структурного совершенства образцов.

Результаты исследований позволили установить, что эффект поля велик в образцах, полученных при  $T_{II} = 293 \text{ K}$ . Как показали наши исследования, при кратковременном (импульсном) приложении электрического поля величина относительного электросопротивления ( $DR/R$ ) изменяется скачком, а затем со временем спадает до исходного значения. При постоянном приложении электрического поля  $DR/R$  скачком увеличивается до некоторого значения, затем идет дальнейший рост и выход на насыщение. В этом случае значение  $DR/R$  при выключении поля мгновенно принимает исходное значение. При истошающем (положительном) потенциале на

электроде эффект поля сильнее, чем при обогащающем (отрицательном) потенциале.

Подобное различие эффекта поля обнаружено также для образцов, выращенных в электрическом поле, хотя по величине значение эффекта поля в данном случае в два раза меньше, по сравнению с образцами, выращенными без электрического поля. Это связано с тем, что подвижность основных носителей заряда в приповерхностной области во многом определяется рассеянием на поверхности. При положительном потенциале на поверхности основные носители заряда – дырки отклоняются электрическим полем внутрь объема, вследствие чего вероятность столкновения дырок с поверхностью уменьшается и их подвижность возрастает, а при отрицательном – наоборот. Последний вывод подтверждает идею релаксации различных по знаку носителей заряда за различное время. Для теллура основными носителями тока являются дырки и время релаксации их больше, чем время релаксации электронов.

На основе проведенных исследований, можно сделать вывод о том, что в процессе выращивания образцов электрическое поле влияет на концентрацию адсорбируемых атомов, характер взаимодействия их с подложкой, потенциальный рельеф подложки, а также на взаимодействие атомов между собой, что должно привести к их определенному выстраиванию друг относительно друга за счет поляризации. Таким образом, есть принципиальная возможность управления структурным упорядочением и процессами конденсации при выращивании тонких пленок теллура в электрическом поле.

## ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

1. На основании анализа и обобщения результатов многочисленных экспериментов установлены два оптимальных режима выращивания монокристаллических пленок теллура с зеркальной поверхностью методом квазизамкнутого объема:

- а) для температур источника  $T_{II} = 633 \div 693 \text{ K}$  и подложки  $T_{II} = 290 \div 310 \text{ K}$  расстояние от подложки до диафрагмы 2 мм;
- б) для температур источника  $T_{II} = 759 \div 763 \text{ K}$  и подложки  $T_{II} = 298 \div 303 \text{ K}$  расстояние от подложки до диафрагмы 25 мм.

Диаметр диафрагмы в обоих режимах 1,5 мм.

2. Влияние постоянного электрического поля на рост и структуру конденсируемых образцов начинается со значения напряженности электрического поля, равного

66 В/см, наиболее заметное влияние электрического поля наблюдается при напряженности 1 кВ/см. Поля с напряженностью 2 кВ/см и выше приводят к ухудшению структуры образцов.

3. Экспериментально показано, что с помощью электрического поля можно управлять процессами роста ориентированных пленок *Te*:

а) в электрическом поле напряженностью 1 кВ/см при температуре подложки (337-438) К достигнута практически постоянная скорость роста пленок *Te*, вследствие чего получены пленки *Te* постоянной толщины;

б) в электрическом поле напряженностью 1 кВ/см при температурах подложки во всем исследованном интервале температур (325-482) К стабилизирована величина анизотропии электросопротивления  $\Delta R$  пленок *Te*, что говорит о получении более совершенных пленок;

в) влияние электрического поля напряженностью 1 кВ/см на рост пленок *Te* в сочетании с отжигом полученных пленок позволило еще более улучшить структуру пленок, о чем свидетельствует относительная стабилизация термо-эдс при температурах подложки (360-425) К;

г) о повышении структурного совершенства пленок теллура, выращенных в электрическом поле, говорит и понижение плотности поверхностных состояний:  $N_s = 4 \cdot 10^8 \text{ см}^{-2}$  – в ПЭП,  $N_s = 2 \cdot 10^9 \text{ см}^{-2}$  – без воздействия поля.

4. Установлено влияние постоянного электрического поля напряженностью 1 кВ/см на электрофизические свойства пленок *Te*, выращенных при комнатной температуре. Это влияние выражается в уменьшении удельного сопротивления  $\rho$ , концентрации носителей заряда  $n$  (исследованы в температурном интервале (77,4-300) К) и термо-эдс  $\alpha$  (исследована при 288-425 К); в увеличении подвижности носителей  $\mu$  (исследована при температурах 77,4-300 К) по сравнению со значениями тех же физических величин для пленок, выращенных без воздействия поля. Эти данные подтверждают возможность управления свойствами и структурой пленок *Te* с помощью электрического поля, что в конечном итоге позволяет получать ориентированные пленки *Te* высокого структурного совершенства.

5. Установлено, что для структур *Al-Te-Al*, полученных в электрическом поле, характеристики диэлектрических свойств – электрическая емкость  $C$  и тангенс угла потерь  $tg\delta$ , исследованные в температурном интервале 288-450 К, лучше и сохраняют стабильность в течение длительного времени (наблюдение в течение пяти лет), по сравнению с такими характеристиками для тех же структур, но полученных без воздействия поля.

## СПИСОК РАБОТ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

### **I. Список работ, опубликованных в ведущих рецензируемых научных журналах и изданиях, входящих в перечень ВАК РФ**

1. Качабеков М.М., Ахмедова З.А., Келбиханов Р.К., Касимов С.Г., Абдурагимов Г.А. Особенности роста и электрофизические свойства пленок теллура. //Известия АН СССР. Неорганические материалы. 1988. Т.24, №5. С.856-858.
2. Келбиханов Р.К., Качабеков М.М., Иванов Г.А. Влияние электрического поля на рост и электрофизические свойства пленок теллура. //Физика и химия обработки материалов. 2000. №6. С.54-56.

### **II. Список работ, депонированных в ВИНТИ**

1. Келбиханов Р.К. Особенности роста пленок теллура в электрических полях. //Депонировано в ВИНТИ, 19.04.2000. №1065 - В00. 11 с.
2. Келбиханов Р.К. Диэлектрическое поведение пленок теллура, выращенных в электрических полях. //Депонировано в ВИНТИ, 27.02.01. №507 - В2001. 5 с.
3. Келбиханов Р.К. Эффект поля в пленках теллура, конденсированных в электрических полях. //Депонировано в ВИНТИ, 04.07.01. №1581 - В2001. 12 с.

### **III. Список работ, опубликованных в материалах Международных и Всероссийских конференций**

1. Келбиханов Р.К., Качабеков М.М., Мейланов Р. П. Конденсация пленок теллура в электрических полях. //В сб.: Тезисы докладов Международной конференции “Фазовые переходы и критические явления в конденсированных средах” и III Международного семинара “Магнитные фазовые переходы”, посвященного памяти академика А.С. Боровика-Романова. Россия, Республика Дагестан. Махачкала, 1998. С.151.
2. Келбиханов Р.К., Иванов Г.А., Качабеков М.М., Ахмедова З.А. Термоэлектрические свойства пленок теллура, выращенных в электрических полях. //В сб.: Тезисы докладов Международной научной конференции посвященной 275-летию РАН и 50-летию ДНЦ РАН “Достижения и современные проблемы развития науки в Дагестане”. Махачкала, 1999. С.24.
3. Келбиханов Р.К., Качабеков М.М., Ахмедова З.А., Иванов Г.А., Абдурагимов Г.А., Фатуллаева Ф.Б. Явление релаксации на границе теллура-подложка. //В сб.: Материалы Международной конференции “Фазовые переходы и нелинейные явления в конденсированных средах”, посвященной памяти академика Б.Б.Кадомова и IV Международного семинара “Физика магнитных фазовых переходов”, посвященного 90-летию академика С.В.Вонсовского. Махачкала, 2000. С.252-253.

4. Келбиханов Р.К., Качабеков М.М., Иванов Г.А., Ахмедова З.А. Релаксационные явления в конденсированных пленках теллура. //В сб.: Тезисы докладов Всероссийской научной конференции “Физика полупроводников и полуметаллов”. СПб: Издательство РГПУ им. А.И. Герцена, 2002. С.97-98.
5. Келбиханов Р.К., Иванов Г.А., Мейланов Р.П., Абдурагимов Г.А. Электрофизические свойства пленок теллура при низких температурах. //В сб.: Тезисы докладов Всероссийской научной конференции “Физика полупроводников и полуметаллов”. СПб: Издательство РГПУ им. А.И. Герцена, 2002. С.99-101.
6. Келбиханов Р.К., Абдурагимов Г.А., Ахмедова З.А. Концентрация носителей заряда пленок теллура, конденсированных в электрических полях. //В сб.: Труды Международной конференции “Фазовые переходы, критические и нелинейные явления в конденсированных средах” и V Международного семинара “Магнитные фазовые переходы”, посвященного памяти К.П. Белова. Махачкала, 2002. С.192-195.
7. Келбиханов Р.К., Абдурагимов Г.А. Термо-эдс пленок теллура, конденсированных на ориентирующих подложках. //В сб.: Труды Международной конференции “Фазовые переходы, критические и нелинейные явления в конденсированных средах” и V Международного семинара “Магнитные фазовые переходы”, посвященного памяти К.П. Белова. Махачкала, 2002. С.199-202.
8. Келбиханов Р.К. Диэлектрическое поведение структур алюминий-теллур-алюминий //В сб.: Труды Международной конференции “Фазовые переходы, критические и нелинейные явления в конденсированных средах”. Махачкала, 2004. С.444-446.
9. Келбиханов Р.К., Абдурагимов Г.А., Ахмедова З.А. Термоэлектрические свойства пленок теллура. //В сб.: Материалы IV Всероссийской конференции по физической электронике. Махачкала: ИПЦ ДГУ, 2006. С.248-251.
10. Келбиханов Р.К. Температурная зависимость подвижности и концентрации носителей заряда пленок теллура, полученных при комнатной температуре. //В сб.: Труды Международной конференции “Фазовые переходы, критические и нелинейные явления в конденсированных средах, посвященной 50-летию института физики ДНЦ РАН”. Махачкала, 2007. С.553-556.

#### **IV. Список работ, опубликованных в материалах региональных и межвузовских конференций**

1. Абдурагимов Г.А., Ахмедова З.А., Келбиханов Р.К., Качабеков М.М. Пленки теллура высокого совершенства и их свойства. //В сб.: Научная сессия Дагестанского Филиала АН СССР, посвященная итогам фундаментальных и прикладных исследований. Махачкала, 1988. С.18.



2. Келбиханов Р.К., Качабеков М.М., Ахмедова З.А. Временные характеристики пленок теллура. //В сб.: Научная сессия преподавателей и сотрудников ДГПИ. Махачкала, 1991. С.7.
3. Келбиханов Р.К., Ахмедова З.А., Качабеков М.М., Абдурагимов Г.А. Анизотропия электрофизических свойств пленок теллура, выращенных в электрических поля. //В сб.: Научная сессия преподавателей и сотрудников Даггоспедуниверситета “Научные исследования как основа фундаментализации образования”. Махачкала, 1997, выпуск II. С.157-158.
4. Келбиханов Р.К., Фатуллаева Ф.Б., Качабеков М.М., Ахмедова З.А., Абдуллаев Т.А. Тангенс угла потерь в слоях металл-теллуры-металл. //В сб.: Научная сессия преподавателей и сотрудников Даггоспедуниверситета “Научные исследования как основа фундаментализации образования”. Махачкала, 1997, выпуск II. С.169-170.
5. Келбиханов Р.К. Монокристаллические пленки теллура. //В сб.: Научная сессия преподавателей и сотрудников Даггоспедуниверситета “Вузовская наука и проблемы гуманитарного и естественнонаучного образования в высшей школе” Махачкала, 1998, выпуск III. С.172 - 174.
6. Келбиханов Р.К. Влияние электрического поля на  $DR$  пленок теллура. //В сб.: Научная сессия преподавателей и сотрудников Даггоспедуниверситета “Вузовская наука и проблемы гуманитарного и естественнонаучного образования в высшей школе”. Махачкала, 1998, выпуск III. С.174.
7. Келбиханов Р.К., Качабеков М.М., Иванов Г.А., Ахмедова З.А., Аджимурадов З.А. Температурная зависимость электрофизических свойств пленок теллура, выращенных в электрических полях. //В сб.: Научная сессия преподавателей и сотрудников Даггоспедуниверситета “Вузовская наука и образование на пороге XXI века: проблемы и перспективы”. Махачкала, 1999. Выпуск IV, часть II. С.4-5.
8. Келбиханов Р.К., Качабеков М.М., Ахмедова З.А., Иванов Г.А., Абдурагимов Г.А., Фатуллаева Ф.Б. Эффект поля в конденсированных пленках теллура. //В сб.: Научная сессия преподавателей и сотрудников Даггоспедуниверситета “Образование и наука – основы социально-экономического и духовного развития России”. Махачкала, 2000. Выпуск V, часть II. С.22-24.
9. Келбиханов Р.К., Ахмедова З.А., Абдурагимов Г.А., Абдуллаев Т.А. Температурная зависимость концентрации носителей заряда пленок теллура. //В сб.: Научная сессия преподавателей и сотрудников Даггоспедуниверситета “Будущее науки: Методология познания и образовательные технологии”. Махачкала, 2001. Выпуск VI, часть II. С.24-25.

10. Келбиханов Р.К., Абдурагимов Г.А., Ахмедова З.А. Термоэлектрические свойства и плотность заряженных поверхностных состояний пленок теллура. //В сб.: Научная сессия преподавателей и сотрудников Даггоспедуниверситета “Инновационная деятельность в вузе – условие развития методологии современного образования”. Махачкала, 2002. Выпуск VII, часть II. С.17-18.
11. Келбиханов Р.К., Ахмедова З.А., Абдурагимов Г.А. Влияние магнитных и электрических полей на электрофизические свойства пленок. //В сб.: Тезисы докладов научной сессии преподавателей и сотрудников Даггоспедуниверситета “Интеграция науки и образования – важнейший фактор развития высшей школы” (Естественные науки). Махачкала, 2003. Выпуск VIII, часть II. С.32.
12. Келбиханов Р.К. Диэлектрическое поведение тонких слоев  $Al-Te-Al$ , конденсированных в электрических полях. //В сб.: Научные работы преподавателей и сотрудников физического факультета. Махачкала: ДГПУ, 2004. С.63-68.
13. Келбиханов Р.К., Абдурагимов Г.А. Влияние на термоэлектрические свойства и плотность заряженных состояний пленок теллура выращивание в электрических полях. //В межвуз. сб.: Научные работы аспирантов (Естественные науки). Махачкала: ДГПУ, 2006, В.3. С.93-96.

### Список цитированной литературы

1. Бондарчук Н.Ф., Вигдорович В.Н., Ухлинов Г.А. Поверхностные явления и размерные эффекты в конденсированных пленках теллура. //Известия АН Молдавской ССР. Серия физико-технических и математических наук. 1988. №2. С.61-63.
2. Chaudhuri S., Chakrabarti B., Pal A.K. Thermoelectric power of tellurium films. //Thin solid films. 1981. V.82, №3. P.217-223.
3. Вигдорович В.Н., Ухлинов Г.А., Чиботару Н.И. О термической ширине запрещенной зоны в тонких пленках теллура. //ФТП. 1978. Т.12, №9. С.1816-1820.
4. Шалимова К.В., Солдатов В.С., Смотряков А.А., Титов В.Б., Сапожникова О.В. Влияние поверхностного рассеяния на подвижность дырок в тонких пленках теллура. //ФТП. 1973. Т.7, №8. С.1457-1460.
5. Silbermann R., Landwehr G., Köhler H. Field effect in tellurium. //Solid state communications. 1971. V.9, №13. P.949-951.

Подписано к печати 22.08.2008. Печать офсетная.  
Формат бумаги 60x84 1/16. Заказ 86. Тираж 100 экз.

Издательско-полиграфический центр ДГУ  
Махачкала, ул. М. Ярагского, 59-а.

