ОТЗЫВ

на диссертационную работу Толепова Жандоса Каирмаганбетовича по теме «Структура и электронные свойства модифицированных пленок GeSbTe», представленной на соискание ученой степени доктора философии PhD по специальности 6D071000 – «Материаловедение и технология новых материалов»

1. **Актуальность темы исследования и ее связь с общенаучными и общегосударственными программами.**

Диссертационная работа Толепова Ж.К. посвящена исследованию структуры и электронных свойств аморфных и кристаллических тонких пленок халькогенидного стеклообразного полупроводника (ХСП) состава $Ge_2Sb_2Te_5$, модифицированных висмутом, методом ионно-плазменного высокочастотного со-распыления. Тема исследовании является актуальной, потому, что направлена на решение существующей научной и технической проблемы - управления электронными свойствами ХСП, так как традиционные методы изменения свойств этих материалов, такие как введение примеси при синтезе или методом термодиффузии, оказались в этом случае неэффективными.

Постановка исследований является обоснованной, соответствует запросам практического использования и полезна с научной точки зрения.

Диссертационная работа выполнялась в рамках НИР по программе грантового финансирования фундаментальных исследований КН МОН РК по приоритету «Фундаментальные исследования в естественно-научной сфере» по темам №ГР 0215РК01347 (2015-2017 гг.) и №ГР 0118РК01188 (2018-2019 гг.).

2. **Научные результаты в рамках требований к диссертациям (пп.127, от 31.03.11г., Правила присуждения ученых степеней).**

Основные научные результаты, полученные автором в ходе выполнения диссертации:

1. Методом комбинационного рассеяния света установлено, что при модифицировании пленок $Ge_2Sb_2Te_5$ примесью висмутом с концентрацией до 16 ат.% структура пленок является аморфной.

2. Показано, что при увеличении концентрации висмута в пленках $Ge_2Sb_2Te_5$<Bi> происходит существенный рост температуры кристаллизации, которая возрастает практически по линейному закону в пленках $Ge_2Sb_2Te_5$<Bi> с концентрацией висмута больше, чем 2,8 ат.%.

3. Установлено, что аморфные пленки $Ge_2Sb_2Te_5$ и $Ge_2Sb_2Te_5$ <Bi 2,8 ат.%>, полученные ионно-плазменным высокочастотным распылением, в результате лазерного облучения претерпевают фазовые переходы из аморфного состояния в метастабильное кристаллическое с кубической структурой, а затем в стабильное кристаллическое с гексагональной структурой. В пленках с концентрацией висмута выше 2,8 ат.%, происходит

переход структуры из аморфного состояния в кристаллическое со стабильной гексагональной структурой, минуя метастабильную фазу.

4. Показана возможность эффективного управления оптическим контрастом, полупроводниковыми свойствами и параметрами эффекта переключения путем при модифицировании висмутом состава $Ge_2Sb_2Te_5$.

3. **Степень обоснованности и достоверности каждого научного результата (научного положения), выводов и заключения соискателя, сформулированных в диссертации.**

Обоснованность и достоверность полученных результатов диссертационной работы обеспечивается использованием хорошо апробированных и взаимодополняющих методов физического эксперимента, достаточным количеством экспериментальных данных и их непротиворечивостью фундаментальным положениям физики конденсированного состояния, физическим обоснованием всех основных экспериментальных результатов.

Выводы по диссертационной работе являются взаимно согласованными и не содержат внутренних противоречий.

4. **Степень новизны каждого научного результата (положения), вывода соискателя, сформулированных в диссертации.**

Научная новизна работы состоит в том, что в ней впервые показано, что структура исходных тонких пленок $Ge_2Sb_2Te_5$<Bi>, полученных методом ионно-плазменного высокочастотного со-распыления, с концентрацией Bi до 16 ат.% является аморфной и не содержит кластеры висмута.

Впервые показано, что при лазерном облучении наноразмерных пленок $Ge_2Sb_2Te_5$<Bi>, с содержанием Bi выше 2,8 ат.%, их структура переходит из аморфного состояния в кристаллическое со стабильной гексагональной структурой без промежуточного метастабильного состояния с кубической структурой.

Впервые с использованием метода РФЭС показано, что в аморфных и кристаллических пленках $Ge_2Sb_2Te_5$<Bi> атомы висмута образуют разнообразные химические соединения с компонентами матрицы, и при концентрации, равной ~6,3 ат.%, висмут взаимодействует только с атомами Te, образуя соединения Bi_2Te_3.

Показана возможность эффективного изменения основных полупроводниковых свойств в аморфном и кристаллическом состояниях и параметров эффекта переключения и памяти пленок $Ge_2Sb_2Te_5$<Bi> путем варьирования концентрации примеси Bi.

5. **Оценка внутреннего единства полученных результатов.**

Полученные результаты в диссертационной работе Толепова Ж.К. характеризуются внутренним единством: разделы диссертации последовательно связаны между собой, экспериментальные результаты и их обсуждения

логически изложены в соответствующих разделах диссертации и направлены на достижение цели.

6. **Практическая и теоретическая значимость полученных результатов.**

Отработанная технология получения модифицированных тонких пленок дает возможность получать пленки $Ge_2Sb_2Te_5$<Bi> с большой концентрацией примеси Bi с аморфной структурой.

Показано, что пленки $Ge_2Sb_2Te_5$<Bi> с концентрацией Bi, равной 6,3 и 15,9 ат.% являются перспективным материалом для оптических дисков CD-RW, DVD, Blu-Ray.

Результаты диссертационной работы могут быть использованы для создания энергонезависимой памяти на основе пленок состава $Ge_2Sb_2Te_5$<Bi> с улучшенными характеристиками и параметрами для хранения и записи информации и улучшения параметров оптических носителей информации.

Результаты, полученные в диссертации, могут быть использованы для развития модельных представлений механизма легирования ХСП и теории эффекта переключения и памяти в модифицированных пленках $Ge_2Sb_2Te_5$, а также для управления электронными свойствами аморфных пленок состава $Ge_2Sb_2Te_5$ путем примесной модификации.

7. **Подтверждение достаточной полноты публикаций основных положений, результатов, выводов и заключения диссертации.**

По материалам диссертации опубликовано 15 печатных работах, в том числе 1 статья в журнале, входящем в базу данных Thomson Reuters и Scopus (IF=2,48; SJR=0,72), 7 публикаций (включая 1 патент) в изданиях, рекомендуемых ККСОН, 6 в материалах международных конференций, из них 1, входящая в базу данных Thompson Reuters.

8. **Замечания, предложения по диссертации.**

Диссертационная работа Толепова Ж.К. оформлена в соответствии с требованиями, изложенными в Правилах по присуждению учёных степеней.

В работе имеются отдельные недостатки:

1. В тексте диссертации содержатся технические ошибки. Местами автором допускаются стилистические неточности и формулировки в изложении материала.
2. В диссертации при определении температуры кристаллизации образцы нагревались со скоростью 2 °/мин. Такая скорость нагрева образцов никак не обоснована в тексте диссертации, хотя, известно, что скорость нагрева может существенно влияет на величину температуры кристаллизации.
3. Из текста диссертации не вполне понятен механизм влияние примеси висмута на параметры эффекта переключения и памяти в пленках $Ge_2Sb_2Te_5$<Bi>.

Высказанные замечания не снижают ценности работы, которая выполнена на высоком научно-методическом уровне.

9. **Соответствие содержания диссертации в рамках требований Правил присуждения ученых степеней.**

На основании изложенного, считаю, что диссертационная работа Толепова Ж.К. по актуальности решаемых задач и полученным результатам, по их научной и практической значимости, представляет собой законченное научное исследование и удовлетворяет требованиям Комитета по контролю в сфере образования и науки МОН РК, предъявляемым к докторским (PhD) диссертациям, а ее автор заслуживает присуждения ученой степени доктора философии (PhD) по специальности 6D071000 – «Материаловедение и технология новых материалов».

Официальный рецензент,
старший научный сотрудник
лаборатории полупроводниковых материалов
Физико-Технического Института
кандидат физико-математических наук Мить К.А.

КЕНСЕ
КАНЦЕЛЯРИЯ

ҚОЛ ТАҢБАСЫ КУӘЛАНДЫРАМЫН
/ПОДПИСЬ ЗАВЕРЯЮ
Ғылыми хатшы/Ученый секретарь
«Физика-техникалық институты» ЖШС
11 мая 20 19 ж/г.
қолы/подпись Тастарбаева Д
аты-жөні/ФИО