

Заключение диссертационного совета МГУ.013.5  
по диссертации на соискание ученой степени кандидата наук

Решение диссертационного совета от «21» марта 2024 г. № 21

О присуждении Колчину Александру Валерьевичу, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация «Структурные, оптические и электрофизические свойства фазопеременных пленок  $\text{Ge}_2\text{Sb}_2\text{Te}_5$ , облученных фемтосекундными лазерными импульсами» по специальности 1.3.11 Физика полупроводников принята к защите диссертационным советом 08 февраля 2024 года, протокол № 19.

Соискатель, Колчин Александр Валерьевич, 1995 года рождения, в 2018 году с отличием окончил Московский Государственный Университет имени М. В. Ломоносова с присвоением квалификации «Магистр» по направлению подготовки 03.04.02 «Физика». В 2022 году он успешно освоил программу подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре физического факультета Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова по направлению 03.06.01 «Физика и астрономия». В настоящее время соискатель работает младшим научным сотрудником лаборатории химии координационных полиядерных соединений Института общей и неорганической химии имени Н.С. Курнакова Российской академии наук.

Диссертация выполнена на кафедре общей физики и молекулярной электроники физического факультета Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова.

Научный руководитель:

– кандидат физико-математических наук, доцент кафедры общей физики и молекулярной электроники физического факультета Московского

государственного университета имени М.В. Ломоносова Заботнов Станислав Васильевич.

Официальные оппоненты:

– Манцевич Владимир Николаевич – доктор физико-математических наук, профессор кафедры физики полупроводников и криоэлектроники физического факультета Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова;

– Кучерик Алексей Олегович – доктор физико-математических наук, доцент, проректор по научной работе и цифровому развитию Владимирского государственного университета имени А.Г. и Н.Г. Столетовых;

– Смаев Михаил Петрович – кандидат физико-математических наук, высококвалифицированный старший научный сотрудник отдела оптики низкотемпературной плазмы Физического института имени П.Н. Лебедева РАН,

дали положительные отзывы на диссертацию.

Соискатель имеет 17 опубликованных статей, из которых 6 по теме диссертации (3,7 п.л.), в том числе 5 статей (3.2 п.л.), опубликованных в рецензируемых научных журналах, рекомендованных для защиты в диссертационном совете МГУ по специальности 1.3.11 - Физика полупроводников.

В качестве основных публикаций можно выделить следующие работы:

1) **A. Kolchin**, D. Shuleiko, M. Martyshov, A. Efimova, L. Golovan, D. Presnov, T. Kunkel, V. Glukhenkaya, P. Lazarenko, P. Kashkarov, S. Zobotnov, S. Kozyukhin «Artificial anisotropy in  $\text{Ge}_2\text{Sb}_2\text{Te}_5$  thin films after femtosecond laser irradiation» // Materials. 2022. V. 15(10). N. 3499. IF=3.8 (JIF). Объем – 1.1 п.л. Авторский вклад – 0.5. DOI: 10.3390/ma15103499.

2) **А.В. Колчин**, С.В. Заботнов, Д.В. Шулейко, П.И. Лазаренко, В.Б. Глухенькая, С.А. Козюхин, П.К. Кашкаров «Кинетика обратимых фазовых переходов в тонких пленках  $\text{Ge}_2\text{Sb}_2\text{Te}_5$  при фемтосекундном лазерном

облучении» // Оптика и спектроскопия. 2023. Т. 131(2). С. 145–153. IF=0.8 (JIF). Объем – 0.8 п.л. Авторский вклад – 0.5. DOI: 10.21883/os.2023.02.54996.10-23.

3) **A.V. Kolchin**, D.V. Shuleiko, S.V. Zobotnov, L.A. Golovan, D.E. Presnov, T.P. Kaminskaya, P.I. Lazarenko, S.A. Kozyukhin, P.K. Kashkarov «Formation of periodic surface structures in multilayer amorphous  $\text{Ge}_2\text{Sb}_2\text{Te}_5$  thin films irradiated by femtosecond laser pulses» // Journal of Physics: Conference Series. 2020. V. 1686. N. 012006. P. 1-5. IF=0.5 (JIF). Объем – 0.4 п.л. Авторский вклад – 0.5. DOI: 10.1088/1742-6596/1686/1/012006.

4) **А.В. Колчин**, Д.В. Шулейко, А.В. Павликов, С.В. Заботнов, Л.А. Головань, Д.Е. Преснов, В.А. Володин, Г.К. Кривякин, А.А. Попов, П.К. Кашкаров «Фемтосекундный лазерный отжиг многослойных тонкопленочных структур на основе аморфных германия и кремния» // Письма в журнал технической физики. 2020. Т. 46(11). С. 43–46. IF=0.6 (JIF). Объем – 0.5 п.л. Авторский вклад – 0.5. DOI: 10.21883/PJTF.2020.11.49499.18201.

5) **А.В. Колчин**, С.В. Заботнов, Д.В. Шулейко, Д.Е. Преснов, М.Е. Федянина, Е.В. Кузьмин, П.К. Кашкаров «Лазерно-индуцированное формирование поверхностных периодических структур и обратимая кристаллизация в аморфных тонких пленках  $\text{Ge}_2\text{Sb}_2\text{Te}_5$  как результат фемтосекундного облучения» // Научно-технические ведомости СПбГПУ. Физико-математические науки. 2022. Т. 15(3.1) С. 237–242. IF=0.2 (JIF). Объем – 0.4 п.л. Авторский вклад – 0.5. DOI: 10.18721/JPM.153.140.

Приведённые в публикациях экспериментальные данные были получены автором самостоятельно в процессе работы на экспериментальном оборудовании. Анализ и интерпретация полученных данных проводились автором совместно с научным руководителем С.В. Заботновым. Кроме того, автор принимал участие в обсуждении и подготовке научных публикаций, а также в представлении результатов на научных конференциях. Результаты диссертации докладывались на научных семинарах кафедры физики полупроводников и криоэлектроники физического факультета Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова и отдела оптики

низкотемпературной плазмы Физического института имени П.Н. Лебедева РАН.

Работа А.В. Колчина над диссертацией была поддержана грантом РФФИ № 20-32-90111 «Фемтосекундная лазерная модификация пленок GST225: формирование поверхностных периодических структур и фазовые переходы при многоимпульсном облучении» по конкурсу «Аспиранты».

На диссертацию и автореферат поступило 7 дополнительных отзывов, все положительные.

Выбор официальных оппонентов обосновывался соответствием их научных интересов профилю рассматриваемой диссертации, профессионализмом, высокими достижениями и компетентностью в соответствующей отрасли науки, а также наличием публикаций, соответствующих тематике диссертации. Указанные оппоненты не имеют совместных проектов и публикаций по теме диссертации с соискателем.

Диссертационный совет отмечает, что представленная диссертация на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук является научно-квалификационной работой, в которой на основании выполненных автором исследований были решены важные научные задачи, связанные с исследованием структурных свойств тонких пленок на основе халькогенидного полупроводника  $\text{Ge}_2\text{Sb}_2\text{Te}_5$ , облученных фемтосекундными лазерными импульсами; описанием механизмов формирования лазерно-индуцированных поверхностных периодических структур (ЛИППС) и динамики сопутствующих фазовых переходов; анализом спектров отражения и температурных зависимостей проводимости для исследуемых образцов. Полученные результаты могут представлять практический интерес для научно-образовательных организаций, занимающихся созданием устройств энергонезависимой и перезаписываемой памяти, реконфигурируемой нанофотоники и нейроморфных систем, в частности НИУ МИЭТ, ИОНХ РАН, РХТУ имени Д.И. Менделеева, НИУ МФТИ, ИОФ РАН, ФИАН РАН, НИУ ИТМО и др.

Диссертация представляет собой самостоятельное законченное исследование, обладающее внутренним единством. Положения, выносимые на защиту, содержат новые научные результаты и свидетельствуют о личном вкладе автора в науку:

1) Период ЛИПСС в тонких пленках GST225, подвергшихся ФЛО, определяется плотностью энергии и числом импульсов, коэффициентом отражения подложки. Формирование ЛИПСС с близким к длине волны периодом при температурах выше порога кристаллизации и ниже порога плавления GST225 происходит за счет механизма генерации поверхностных плазмон-поляритонов при интенсивном фотовозбуждении носителей заряда и изменении комплексной диэлектрической проницаемости приповерхностного слоя во время облучения согласно теории Друде. Формирование упорядоченных вытянутых кластеров/островковых пленок с периодом в 1.4 – 10 раз меньшим длины волны структурирующего излучения происходит в результате самоорганизации при переносе вещества в расплаве, образующемся при нагреве выше температуры плавления 880 К, за счет конвекции Марангони и неустойчивостей Рэлея–Плато.

2) Кристаллизация изначально аморфных пленок GST225 в результате ФЛО импульсами с длиной волны 1250 нм, плотностью энергии 0.1 Дж/см<sup>2</sup> и числом менее 300 объясняется в рамках двухтемпературной модели фазовым переходом GST225 из аморфной фазы в состояние с гранецентрированной кубической решеткой при превышении температуры 410 К, обратный переход в аморфное состояние при более длительном облучении – переходом пленки в расплавленное состояние и последующим быстрым остыванием при скоростях до 250 К/нс, обеспечивающих стеклование материала.

3) Анизотропия коэффициентов отражения тонких пленок GST225 достигает контраста 4% в спектральном диапазоне 900–1900 нм для зондирующего излучения с ортогональными поляризациями, обусловлена наличием ЛИПСС и объясняется в рамках обобщенной модели Бруггемана,

учитывающей чередование внутри ЛИППС аморфных и кристаллизованных областей.

4) Различие удельной проводимости в температурном диапазоне 200 – 400 К при приложении постоянного тока в плоскости тонких пленок GST225, подвергшихся ФЛО при растровом перемещении луча, в направлении вдоль полос сканирования на 1 – 5 порядков выше данной величины для ортогонального направления за счет формирования кристаллизованных каналов с высокой электропроводностью вдоль полосы сканирования лазерным лучом и наличием аморфных областей с низкой электропроводностью по ее краям.

На заседании 21 марта 2024 г. диссертационный совет принял решение присудить Колчину Александру Валерьевичу ученую степень кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.11 Физика полупроводников.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 19 человек, из них 7 докторов наук по специальности рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, из 23 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за – 19, против – нет, недействительных бюллетеней – нет.

Председатель диссертационного совета МГУ.013.5

Доктор физико-математических наук,

профессор

Перов Николай Сергеевич

Ученый секретарь

диссертационного совета МГУ.013.5

кандидат физико-математических наук

Шапаева Татьяна Борисовна

21.03.2024