

## ОТЗЫВ НАУЧНОГО РУКОВОДИТЕЛЯ

на диссертационную работу Колчина Александра Валерьевича «Структурные, оптические и электрофизические свойства фазопеременных пленок  $\text{Ge}_2\text{Sb}_2\text{Te}_5$ , облученных фемтосекундными лазерными импульсами», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.11 Физика полупроводников

Халькогенидное соединение  $\text{Ge}_2\text{Sb}_2\text{Te}_5$  (GST225) является прозрачным в ближнем и среднем инфракрасном диапазонах полупроводником с заметным контрастом оптических и электрофизических свойств между аморфной и кристаллической фазами. Переходы между этими состояниями являются обратимыми и могут быть реализованы при относительно низких температурах, начиная со  $137^\circ\text{C}$ . Поэтому тонкие пленки из данного материала активно используются в качестве основы для разработки перезаписываемых носителей информации и элементов перестраиваемой (реконфигурируемой) фотоники.

Фазовые переходы в GST225 могут быть инициированы внешним тепловым, электрическим или оптическим воздействием. В последнем случае значительный интерес представляет облучение фемтосекундными лазерными импульсами, позволяющее достигать предельных скоростей переходов между аморфным и кристаллическими состояниями вплоть до 100 пс. При определенных режимах фемтосекундное лазерное облучение может приводить к формированию лазерно-индуцированных поверхностных периодических структур (ЛИППС), период которых обычно соизмерим с длиной волны воздействующего излучения. ЛИППС могут обуславливать искусственную анизотропию оптических и электрофизических свойств облученных пленок GST225. Вследствие этого возможно рассматривать такие структуры в качестве дифракционных решеток, устройств микрополяризационной оптики и для увеличения плотности записываемой лазерным лучом информации.

К настоящему времени достаточно подробно исследована фемтосекундная лазерная кристаллизация аморфных тонких пленок GST225 при различных параметрах облучения, показаны возможности формирования ЛИППС с различными периодами и использования таких структур в качестве дифракционных решеток. Однако, данные исследования сложно назвать законченными, так как в них крайне мало внимания уделяется механизм формирования ЛИППС, расчетам динамики наблюдаемых фазовых переходов, в особенности процесса реаморфизации GST225 при облучении длительное время или импульсами с высокой плотностью энергии, неясна взаимосвязь между наблюдаемыми фазовыми переходами и формированием ЛИППС, отсутствует полноценное объяснение искусственной анизотропии оптических и электрофизических свойств облученной поверхности с периодической модуляцией рельефа и фазовых состояний. Ответам на эти вопросы посвящена диссертация А.В. Колчина.

Им были исследованы и охарактеризованы различными методами тонкопленочные структуры на основе GST225 на металлических и диэлектрических подложках, подвергнутые облучению различным числом фемтосекундных лазерных импульсов при варьировании их плотности энергии. Проведенное исследование можно считать комплексным: проведена систематическая работа от формирования лазерно-индуцированных микро- и наноструктур в тонких пленках до анализа и описания их структурных, оптических и электрофизических свойств с использованием современных экспериментальных методик и численного моделирования.

К новым значимым результатам следует отнести объяснение формирования различных типов ЛИППС в результате возбуждения поверхностных плазмон-поляритонов и термокапиллярных процессов упорядоченного переноса вещества в расплаве при облучении мощными фемтосекундными лазерными импульсами с различными параметрами, установление взаимосвязи между типами таких структур и фазовыми состояниями облученных пленок, объяснение обратимых фазовых переходов с помощью двухтемпературной модели. С прикладной точки зрения существенным вкладом в дальнейшее развитие тонкопленочных структур на основе GST225 с лазерно-индуцированной периодической модуляцией рельефа и фазовых состояний можно считать реализацию и объяснение анизотропии отражения и проводимости таких структур, что открывает широкие перспективы их использования в качестве элементов поляризационной оптики инфракрасного диапазона и интегральных микросхем.

Следует отметить добросовестность, ответственность, самостоятельность А.В. Колчина в работе, его коммуникативные навыки, быструю обучаемость новым технологиям и методикам, а также умение активно использовать полученные знания. В настоящее время он является квалифицированным специалистом, имеющим хорошую теоретическую подготовку и владеющим современными экспериментальными навыками, а также компьютерными методами обработки экспериментальных данных и численного моделирования физических процессов. По теме диссертации им опубликовано 5 статей, индексируемых в международных базах данных WoS, Scopus RSCI. Он докладывал свои результаты по теме диссертации на 15 профильных всероссийских и международных конференциях по физике полупроводников, спектроскопии и лазерным технологиям. Тезисы докладов опубликованы. Работа была поддержана персональным грантом РФФИ № 20-32-90111 Аспиранты. Подготовленная диссертация хорошо оформлена, автореферат полностью отражает ее содержание.

Считаю, что диссертационная работа соответствует требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям, изложенным в разделе 2 «Положения о присуждении ученых степеней в Московском государственном университете» от 18.01.2019, а ее автор Колчин Александр Валерьевич достоин присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.11 Физика полупроводников.

Научный руководитель  
кандидат физико-математических наук,  
доцент кафедры общей физики и молекулярной электроники  
физического факультета  
МГУ имени М.В.Ломоносова

Заботнов Станислав Васильевич

Адрес и контактные данные:

119991 г. Москва, Ленинские Горы, д. 1, стр. 2,  
Физический факультет МГУ имени М.В.Ломоносова,  
кафедра общей физики и молекулярной электроники  
E-mail: [zabotnov@physics.msu.ru](mailto:zabotnov@physics.msu.ru)  
Тел.: +7(495) 939-46-57

Подпись С.В. Заботнова, удостоверяю:

