

Сведения о выполненных работах  
в период с 27.07.2022 г. по 30.06.2023 г.

по проекту «Физико-технологические основы синтеза бездефектного  
силицена и германена методом молекулярно-лучевой эпитаксии»,  
поддержанному Российским научным фондом

Соглашение № 21-72-10031

Руководитель: Лозовой Кирилл Александрович, канд. физ.-мат. наук

В результате выполнения работ по проекту в отчетном периоде была разработана методика и написана программа для расчета параметров двумерных структур силицена и германена с учетом зависимости поверхностных энергий от толщины двумерного слоя, особенностей их эпитаксиального формирования на металлических подложках и с учетом возможной нуклеации островков.

Получены зависимости параметров двумерных слоев и массива островков от величины рассогласования решеток осаждаемого материала и подложки. Показано, что с увеличением величины рассогласования критический размер островка уменьшается, что соответствует снижению активационного барьера нуклеации и постепенному переходу от роста чисто двумерных слоев (механизм Франка–ван дер Мерве) к образованию островков непосредственно на поверхности подложки, без смачивания (механизм Фольмера–Вебера).

Получены зависимости параметров двумерных слоев и массива двумерных островков от величины поверхностных энергий материалов, состояния подложки, а также условий синтеза в методе молекулярно-лучевой эпитаксии: температуры роста, скорости осаждения материала и количества осажденного вещества.

Кроме того, на втором этапе работы осуществлено доукомплектование и модернизация установки для молекулярно-лучевой эпитаксии «Катунь-100». Усовершенствована процедура подготовки пластин для осаждения наноструктур с помощью имеющегося в распоряжении комплекса оборудования для предэпитаксиальной очистки подложек.

Отработаны режимы предэпитаксиальной очистки металлических (Al(111), Ag(111)) и полупроводниковых (Si(111), Ge(111)) подложек методом ионно-плазменного распыления.

Получены экспериментальные образцы материала с двумерными слоями кремния и германия на подложках Si(100), Si(111), Ag(111), Al(111) и на высокоориентированном пиролитическом графите.

На втором этапе работы проведены исследования морфологии поверхности синтезированных структур методами дифракции быстрых электронов, атомно-силовой микроскопии и сканирующей электронной микроскопии. Получены рамановские спектры выращенных образцов с целью определения структурных характеристик полученных двумерных слоев. Проведен анализ степени влияния

условий эпитаксии в установке молекулярно-лучевой эпитаксии «Катунь-100» на особенности режимов роста двумерных структур.

Была осуществлена поездка в город Нижний Новгород для выступления на XV Российской конференции по физике полупроводников (г. Нижний Новгород, 3–7 октября 2022 г.) и обсуждения полученных результатов.

Полученные результаты также представлялись на XIV Международной конференции и XIII Школе молодых ученых и специалистов по актуальным проблемам физики, материаловедения, технологии и диагностики кремния, нанометровых структур и приборов на его основе (г. Новосибирск, 26–30 сентября 2022 г.), на Международном конгрессе 8th International Congress on Energy Fluxes and Radiation Effects (EFRE 2022) (г. Томск, 2–8 октября 2022 г.), на Школе молодых ученых «Актуальные проблемы полупроводниковых наносистем» (г. Новосибирск, 12–13 декабря 2022 г.).

По результатам проделанной работы в отчетном периоде опубликованы 2 статьи в высокорейтинговом зарубежном рецензируемом журнале *Nanomaterials* (Q1, импакт-фактор: 5.719), индексируемом в международных базах данных Web of Science и Scopus:

1. Lozovoy K.A. Single-element 2D materials beyond graphene: Methods of epitaxial synthesis / K.A. Lozovoy, I.I. Izhnin, A.P. Kokhanenko, V.V. Dirko, V.P. Vinarskiy, A.V. Voitsekhovskii, O.I. Fitsych, N.Yu. Akimenko // *Nanomaterials*. – 2022. – V. 12. – P. 2221 (1–21).

2. Dirko V.V. Peculiarities of the 7 x 7 to 5 x 5 superstructure transition during epitaxial growth of germanium on silicon (111) surface / V.V. Dirko, K.A. Lozovoy, A.P. Kokhanenko, O.I. Kukenov, A.G. Korotaev, A.V. Voitsekhovskii // *Nanomaterials*. – 2023. – V. 13. – P. 231 (1–12).