Формирование светоизлучающих и фотодетектирующих в ИК-области тонкослойных структур Ge:Sb/Ge методами ионной имплантации, вакуумного осаждения и импульсного отжига

Р.И. Баталов¹⁾, Р.М. Баязитов¹⁾, И.А. Файзрахманов¹⁾, В.А. Шустов¹⁾, А.В. Новиков²⁾,
П.А. Бушуйкин²⁾, Н.А. Байдакова²⁾, М.Н. Дроздов²⁾

¹⁾ Казанский физико-технический институт,

Федеральный исследовательский центр «Казанский научный центр РАН»,
Казань, 420029, ул. Сибирский тракт, 10/7

²⁾ Институт физики микроструктур, Федеральный исследовательский центр «Институт
прикладной физики РАН», Нижний Новгород, 603950, ГСП-105

тел.: +7 (843) 231-9102, факс: +7 (843) 272-5075, эл. почта: batalov@kfti.knc.ru

DOI 10.34077/RCSP2019-163

Слои германия (Ge), легированные донорной примесью (P, As, Sb) с концентрацией $N = 10^{19}$ - 10^{20} см⁻³, являются перспективным материалом для микроэлектроники, фотоники и сенсорной техники при создании быстродействующих полевых транзисторов, инфракрасных светодиодов, лазеров и фотоприемников, а также сенсоров различных химических веществ.

Актуальной проблемой при формировании тонкопленочных гетероструктур на основе таких слоев, напр. Ge:Sb, является низкий уровень растворимости донорной примеси в Ge (или степень электрической активации), который в равновесных условиях роста, как правило, не превышает 10^{19} см⁻³. Использование неравновесных методов получения сильно легированных слоев, таких как ионное со-распыление, ионная имплантация и импульсный наносекундный отжиг, может позволить преодолеть данную проблему.

В данной работе сильно легированные слои Ge:Sb толщиной 0.1-0.3 мкм были получены двумя методами: (1) ионным распылением в вакууме композитной мишени <Sb/Ge> с осаждением пленки на подложку p-Ge, (2) имплантацией ионов Sb⁺ в монокристалл p-Ge. Получаемые слои имели аморфную структуру, и для их кристаллизации и электрической активации донорной примеси Sb применялась импульсная (наносекундная) ионная обработка (ИИО) пучком ионов углерода и водорода (C⁺, H⁺), а также импульсный лазерный отжиг (ИЛО) на длине волны 1.06 мкм импульсами микросекундной или наносекундной длительности. Во всех случаях отжиг проходил в жидкофазном режиме. Проводилось компьютерное моделирование импульсного нагрева аморфных слоев Ge и его данные сопоставлялись с экспериментом. С использованием широкого набора экспериментальных методов изучались структурные, оптические и электрические свойства облученных слоев Ge:Sb.

Проведенное моделирование позволило оценить глубину, длительность расплава и температуру на поверхности Ge в процессе ИИО и ИЛО при различных режимах воздействий. Методом ВИМС установлена значительно более глубокая диффузия Sb в Ge при ИИО (до 1.5 мкм), чем при ИЛО, что связано с большей глубиной расплава. Определены режимы импульсного отжига, при которых на подложке p-Ge формировались эпитаксиальные слои n-Ge:Sb. Из измерений по Холлу, плазменному отражению и рентгеновской дифракции на вакуумно-осажденных и имплантированных слоях Ge:Sb получены высокие значения концентрации электронов проводимости вплоть до 5×10^{20} см⁻³. Измерения фотолюминесценции при 300 К показали возрастание вклада от прямого перехода при 0.77 эВ (1610 нм) в слоях Ge:Sb после ИИО. Измерения фотопроводимости на диодной структуре n-Ge:Sb/p-Ge показали более интенсивный и расширенный до 2 мкм фотоотклик в сравнении с типовым Ge фотодиодом.