Термические отжиги имплантированных мышьяком МЛЭ пленок CdHgTe

И.И. Ижнин^{1,2)}, А.В. Войцеховский²⁾, А.Г. Коротаев²⁾, К.Д. Мынбаев^{3,4)}, О.Ю. Бончик⁵⁾, Г.В. Савицкий⁵⁾, В.С. Варавин⁶⁾, С.А. Дворецкий^{2,6)}, Н.Н. Михайлов⁶⁾, В.Г. Ремесник⁶⁾, М.В. Якушев⁶⁾, Y. Morgiel⁷⁾, Z. Świątek⁷⁾

¹ Научно-производственное предприятие «Электрон-Карат», Львов, 79031, Стрийская 202

² Национальный исследовательский Томский госуниверситет, Томск, 634050, Ленина 36

³ ФТИ им. А.Ф. Иоффе, Санкт-Петербург, 194021, Политехническая 26

⁴ Университет ИТМО, Санкт-Петербург, 197101, Кронверкский 49

⁵ ИППММ им. Я.С. Пидстригача НАН Украины, Львов, 79060, Научная 36

⁶ ИФП СО РАН, Новосибирск, 630090, пр. Ак. Лаврентьева, 13

⁷ Institute of Metallurgy and Material Science PAN, 30-059, Krakow, Reymonta, 25

тел: +38(032) 263-1065, факс: +38(032) 294-9735, эл. почта: i.izhnin@carat.electron.ua

DOI 10.34077/RCSP2019-177

В настоящее время наблюдается значительный прогресс в технологии создания p^+-n фотодиодов на основе $\text{Cd}_x\text{Hg}_{1-x}\text{Te}$ с использованием ионной имплантации мышьяка. Одной из ключевых для данной технологии является операция электрической активации имплантированной примеси, которая обычно проводится путём двухстадийного термического отжига. Первый этап отжига, проводимый при высоких температурах ($\sim 360^\circ\text{C}$), и имеющий целью активацию мышьяка и аннигиляцию радиационных дефектов, приводит весь материал к дырочному типу проводимости, а в результате второго этапа ($\sim 220^\circ\text{C}$ при насыщенном давлении паров ртути) вакансии ртути, созданные на первом этапе, аннигилируют, а сама «база» p^+-n перехода возвращается к электронному типу проводимости, обусловленному легированием донорной примесью (как правило, индием), проводимым на стадии выращивания материала. При проведении измерений электрических параметров образовавшейся после отжига p^+-n структуры оказывается сложно выделить вклад p^+ -слоя (с имплантированным и активированным мышьяком) в проводимость на фоне высокой проводимости n -«базы». Для решения этой проблемы и получения достоверных данных об электрических свойствах создаваемых структур, проведено исследование влияния различных отжигов на свойства имплантированных мышьяком структур на основе $\text{Cd}_x\text{Hg}_{1-x}\text{Te}$, выращенных методом молекулярно-лучевой эпитаксии на подложках Si. Исследовались три гетероэпитаксиальные структуры с близким химическим составом фоточувствительных слоёв ($x=0.22$), выращенные в разных технологических циклах.

Ионная имплантация была проведена на установке IMC200 (Ion Beam Services, Франция) однозарядными ионами As^+ с энергией $E \approx 200$ кэВ и флюенсом $\Phi = 10^{14} \text{ см}^{-2}$. Двухстадийный активационный отжиг проводился в следующих режимах: 360°C , 2 часа при насыщенном давлении паров ртути ($T_{\text{Hg}} = 350^\circ\text{C}$), и 220°C , 24 часа, при насыщенном давлении паров ртути ($T_{\text{Hg}} = 210^\circ\text{C}$). Также проводился изотермический отжиг в p -тип проводимости, – в атмосфере гелия при температуре $\sim 230^\circ\text{C}$ в течение 22 часов. После отжигов исследовались спектры отражения, ПЭМ исследования приповерхностной дефектной области и электрических параметров структур.

В результате исследований было установлено, что тип проводимости имплантируемого образца (n - или p -) не влияет на характер радиационного дефектообразования (формирование дефектов вида «междоузельная ртуть, захваченная дислокационной петлей»). Связывания атомов мышьяка на дислокационных петлях, в свою очередь, нами обнаружено не было. В результате активационного отжига наблюдалась аннигиляция дислокационных петель и связанных с ними радиационных донорных дефектов, ответственных за появление электронов с низкой подвижностью. Как было установлено, активационный отжиг приводит к образованию поверхностного (толщиной порядка величины полного пробега ионов, 300 нм) слоя p -типа проводимости с высокой степенью активации мышьяка. Возможный механизм активации — распад стеклообразных центров вида As_2Te_3 , в которые мышьяк связывается после имплантации.