

ИМПУЛЬСНАЯ ЛАЗЕРНАЯ ОБРАБОТКА ТОНКОПЛЁНОЧНОГО ГЕРМАНИЯ НА ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ И ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПОДЛОЖКАХ

Р.И. Баталов¹, Р.М. Баязитов¹, И.А. Файзрахманов¹, Г.Д. Ивлев²,
С.Л. Прокопьев², Е.И. Гацкевич³, М.А. Князев³, М.А. Гундина³

¹ Казанский физико-технический институт им. Е.К. Завойского
Казанского научного центра РАН, Казань, Россия

² Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь

³ Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь
E-mail: gatskevich_elena@bk.ru

Одна из актуальных проблем современной полупроводниковой оптоэлектроники – создание эффективных источников света на основе германия, излучающих при комнатной температуре в ближней инфракрасной области ($\lambda = 1,5\text{--}1,6$ мкм). Одним из путей решения данной проблемы может быть модифицирование зонной структуры тонкоплёночного Ge на полупроводниковой или диэлектрической подложках введением термически-индуцированных растягивающих деформаций (0,2–0,3 %) кристаллической решётки Ge, а также высокодозным легированием полупроводника примесью n-типа проводимости (P, As, Sb) [1]. В частности, на основе гетероструктур Ge/Si была получена лазерная генерация при оптической и электрической накачке [2, 3]. Однако эффективность таких лазерных структур пока остается сравнительно низкой, а методы их создания (например, сверхвысоковакуумная молекулярно-лучевая эпитаксия) усложняют кремниевую технологию. Требуется поиск альтернативных методов создания напряженных и сильно легированных слоев Ge, совместимых с кремниевой планарной технологией.

В технологии создания излучателей и фотоприёмников на основе германия эффективным методом может быть импульсная лазерная обработка (ИЛО) [4]. В настоящей работе проведены исследования процессов модификации тонкоплёночного германия на полупроводниковых и диэлектрических подложках под действием наносекундных лазерных импульсов.

В качестве образцов для исследования эффектов ИЛО использовались тонкие (аморфные) плёнки Ge, которые формировались методом-ионно-лучевого распыления мишени [4]. Толщина плёнок варьировалась от 0,2 до 0,3 мкм. Пленки легировались сурьмой с концентрацией 0,1 % или Si с содержанием до 4 %. В качестве подложек использовались пластины сапфира ($\text{c-Al}_2\text{O}_3$) и плавленого кварца ($\alpha\text{-SiO}_2$), пластины кремния, германия и арсенида галлия. ИЛО гетероструктуры a-Ge/подложка проводи-

лась моноимпульсным излучением рубинового лазера на установке, схема которой приведена в работе [4]. Длительность импульса составляла 70–80 нс по уровню 0,5, неравномерность распределения энергии по облучаемой зоне диаметром 4 мм не превышала $\pm 5\%$. Диапазон энергий облучения составлял от 0,4 до 1,2 Дж/см².

Динамика лазерно-индуцированных процессов при ИЛО исследовалась методами оптико-пирометрической диагностики. Получены данные о временных зависимостях отражательной способности на длинах волн зондирующего излучения $\lambda = 0,53$ мкм и 1,06 мкм образцов тонкоплёночного Ge на диэлектрических и полупроводниковых подложках в ряде энергетических режимов импульсной лазерной обработки. Определены временные параметры лазерно-индуцированных процессов плавление $\leftrightarrow$ отвердевание, происходящих в тестируемых объектах при заданных плотностях энергии ИЛО.

Методом яркостной пирометрии зоны ИЛО на эффективной длине волны $\lambda = 0,53$ мкм выяснено влияние плотности энергии и кратности воздействия наносекундного лазерного излучения на длительность и температурный режим фазовых превращений, происходящих в условиях ИЛО в исследуемых гетеросистемах.

На основе численного решения задачи Стефана проведено моделирование лазерно-индуцированных процессов в тонкоплёночном германии на полупроводниковых и диэлектрических подложках при наносекундном лазерном облучении. Моделирование осуществлялось в одномерном приближении. Уравнение теплопроводности для системы плёнка – подложка решалось в конечных разностях методом прогонки по неявной разностной схеме. В расчете учитывались температурные зависимости оптических и теплофизических параметров слоёв.

Получены расчетные временные зависимости поверхностной температуры и температуры на границе плёнка-подложка при различных режимах ИЛО. Проанализированы распределения температуры в исследуемых образцах в заданные моменты времени. Получено согласие расчетных и экспериментальных данных по времени существования расплава и пиковой температуре поверхности. Проведен анализ влияния типа подложки и легирующей примеси на динамику лазерно-индуцированных процессов в тонкоплёночном германии.

1. Liu J., Kimerling L. C., Michel J. // *Semicond. Sci. Technol.* 2012. Vol.27, iss.9. P. 094006.
2. Liu J., et al. // *Optics Lett.* 2010. Vol.35. P. 679.
3. Camacho-Aguilera R.E. [et al.] // *Opt. Express.* 2012. Vol.20, iss.11. P. 1462–1469.
4. Новиков Г.А., Баталов Р.И., Баязитов Р.М. и др. // *Журнал технической физики.* 2015. Т. 85. № 3. С. 89–95.