Пленки кремний-германий-на-изоляторе нанометровой толщины: метод создания и свойства

Тыщенко И.Е.¹, Хмельницкий Р.А.², Володин В.А.¹, Попов В.П.¹

¹ ИФП СО РАН, 630090, Новосибирск, пр. Ак. Лаврентьева, 13

² ФИАН, 119991 ГСП-1 Москва, Ленинский проспект, 53

DOI 10.34077/Semicond2019-183

Структуры кремний-германий-на-изоляторе (КГНИ) рассматриваются как один из возможных путей создания гибридных интегральных схем и увеличения быстродействия приборов, созданных на основе кремниевых подложек. Интерес к КГНИ структурам связан в первую очередь с возможностью увеличения подвижности носителей зарядов в канале транзисторов в несколько раз. Традиционные способы создания таких структур, как молекулярно-лучевая эпитаксия, газофазные методы имеют целый ряд ограничений, обусловленных как низкой термической стабильностью таких структур, так и низким структурным качеством рабочего слоя. Существуют и проблемы при создании КГНИ структур методом водородного переноса слоев германия. В данной работе предложен новый метод создания КГНИ структур, основанный на обнаруженном нами ранее эффекте сегрегации германия, имплантированного в SiO_2 , к границе раздела Si/SiO_2 и встраивания в положения, когерентные с положением атомов кремния.

КГНИ структуры были сформированы методом водородно-индуцированного переноса слоя Si на имплантированную ионами Ge^+ пленку SiO_2 , последующим утонением слоя кремния до 35-180 нанометров и диффузией германия из слоя SiO_2 к границе раздела. Исследования распределения германия и формирование фазы Si-Ge изучались методами вторичной ионной масс-спектрометрии (ВИМС), электронная микроскопия и спектроскопии комбинационного рассеяния света (КРС). На основе созданных структур были изготовлены псевдо-МОП транзисторы с обратным затвором и измерены их сток-затворные характеристики.

Установлено, что уже после отжига 900 °С, 30 мин происходит диффузия Ge как в глубь слоя SiO_2 , так и в слой КНИ на глубину не более 30 нм. С ростом температуры отжига до 1100 °С в течение 30 мин Ge диффундирует в слой КНИ на расстояние ~200 нм, а на границе раздела Si/SiO_2 эпитаксиально растет промежуточный нанометровый слой Ge. Увеличение длительности отжига до 180 мин приводит к перераспределению Ge из имплантированного слоя в подложку Si и слой КНИ. При этом происходит срыв роста сплошного слоя Ge, и на границе раздела Si/SiO_2 наблюдается ориентированный рост островков SiGe. В спектрах КРС обнаружены 3 пика, связанные с оптическими фононами в растворах $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$: колебания Ge-Ge связей в матрице кристаллического германия (296 – 303 cm^{-1}), колебания Ge-Ge связей в матрице кристаллического кремния (403 cm^{-1}) и колебания Si-Si связей в матрице кристаллического германия (~439 cm^{-1}) (рисунок 1). Изучено положение этих пиков и их ширина в зависимости от температуры, длительности отжига и толщины исходной пленки кремния. Полученные данные обсуждаются с точки зрения изменения стехиометрического состава КГНИ слоев. Установлено увеличение подвижности носителей зарядов в канале КГНИ-транзистора.

Рис.1. – Спектры КРС пленок КГНИ толщиной 35-180 нм, полученные после отжига КНИ структур со слоем захороненного SiO_2 , имплантированного ионами Ge^+ с энергией 40 кэВ дозой $8 \times 10^{15} \text{ cm}^{-2}$, при температуре 1100 °С в течение 3 часов.