Формирование массивов нанокристаллов Si и твердого раствора SiGe на неориентирующей диэлектрической подложке

Г.Н. Камаев^{1,2}, А.В. Кацюба¹, П.А. Кучинская¹, В.А. Володин^{1,2}, А.В. Двуреченский^{1,2}

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

² Новосибирский государственный университет, 630090, Новосибирск, ул. Пирогова, 2

тел: +7 (383) 330-5257, эл. почта: kamaev@isp.nsc.ru

DOI 10.34077/RCSP2021-97

Интерес к нанокристаллам кремния (nc-Si), германия (nc-Ge) и их твердых растворов (nc-SiGe) в диэлектрических плёнках вызван способностью люминесцировать в видимой и инфракрасной областях благодаря квантово-размерным ограничениям, что открывает возможность создания в одном чипе устройств оптической и электронной обработки информации. В работе представлены полученные экспериментальные результаты по формированию методом МЛЭ массива nc-SiGe на поверхности SiO₂ с зародышами nc-Si, определение условий, при которых Ge встраивается в nc-Si с образованием nc-SiGe.

С применением низкотемпературных методов плазмохимического осаждения с последующим окислением в плазме кислорода получены структуры с чередующимися ультратонкими слоями SiO₂ и аморфного гидрогенизированного кремния (a-Si:H) на кремниевой подложке. Пленка α-Si:H осаждалась и окислялась с поверхности методом прямого окисления в плазме кислорода таким образом, чтобы сплошной слой α-Si:H распался на кластеры [1]. Далее проводилась термообработка в ростовой камере МЛЭ в стандартном режиме предэпитаксиальной очистки поверхности с подпылением кремния. В результате испарения толщина SiO₂ уменьшалась и «вскрывался» слой с кремниевыми нанокластерами. Эти нанокластеры выступали в качестве зародышей для получения методом МЛЭ nc-SiGe. Свойства получаемых структур на разных стадиях формирования контролировались с помощью методов атомно-силовой микроскопии (АСМ) и спектроскопии комбинационного рассеяния света (КРС).

Проведено осаждение Ge при температуре подложки 550 °С с «тонким» (L ~ 4 nm) и «толстым» (L ~ 8 nm) слоем исходной плёнки a-Si:H. Количество осаждаемого Ge (в пересчете на плоскую поверхность) составляло во всех случаях ~ 60 Å. На структурах с «толстым» слоем исходной плёнки a-Si:H проведено осаждение Ge при температурах 400 °С и 550 °С. По данным АСМ диаметр нанокристаллов задается размером исходных кремниевых зародышей. Определение условий, при которых Ge встраивается в растущий нанокристалл, и состав формируемого твердого раствора SiGe проведено из анализа данных КРС. В обоих случаях на спектрах отчетливо видны пики КРС на колебаниях связей Ge-Ge (при ~ 300 см⁻¹). В спектрах также проявляются пики от рассеяния на колебаниях связей Ge-Si (при ~ 400 см⁻¹).

Температура осаждения оказывает существенное влияние на рост nc-SiGe. Если при температуре 400 °С Ge осаждается как на крупных, так и на мелких зародышах, то повышение температуры до 550 °С приводит к тому, что Ge преимущественно высаживается на крупных зародышах. При этом, сравнительный анализ АСМ-изображений показал, что с повышением температуры поверхность дополнительно выглаживается. Это свидетельство того, что имеет место интенсивная поверхностная диффузия, в результате чего Ge перемещается по поверхности, захватывается и встраивается только на крупные кремниевые кластеры. Анализ данных КРС подтверждает это. На спектрах интенсивность пика на колебаниях связей Ge-Ge существенно выше для случая 400 °С, когда Ge осаждается как на крупных, так и на мелких зародышах. Также растет и интенсивность пика от рассеяния на колебаниях связей Ge-Si за счет связывания Ge на большей эффективной площади кремния (на крупных и мелких зародышах).

Литература

- [1] И. Г. Неизвестный, В. А. Володин, Г. Н. Камаев, С. Г. Черкова, С. В. Усенков, Н. Л. Шварц // Автометрия. 2016. Т.52 вып.5, С. 84-96.