

ФИЗИКА ПОЛУПРОВОДНИКОВ И ДИЭЛЕКТРИКОВ

УДК 621.315.592

В.А. ТИМОФЕЕВ*, А.П. КОХАНЕНКО**, А.И. НИКИФОРОВ*, В.И. МАШАНОВ*,
А.Р. ТУКТАМЫШЕВ*, И.Д. ЛОШКАРЕВ*

**СИНТЕЗ ЭПИТАКСИАЛЬНЫХ ПЛЕНОК НА БАЗЕ МАТЕРИАЛОВ Ge–Si–Sn
С ГЕТЕРОПЕРЕХОДАМИ Ge/GeSn, Ge/GeSiSn, GeSn/GeSiSn¹**

Представлены результаты исследований по синтезу гетероструктур на основе материалов Ge–Si–Sn методом низкотемпературной молекулярно-лучевой эпитаксии. Формирование эпитаксиальных пленок контролировалось с помощью дифракции быстрых электронов в процессе роста структур. Выращены пленки с гетеропереходами Ge/GeSn, Ge/GeSiSn, GeSn/GeSiSn при содержании Sn от 2 до 10 % в области температур 150–350 °С. Напряженное состояние, структура и параметр решетки изучены методом рентгеновской дифрактометрии с использованием кривых качания и карт обратного пространства. Получена деформация растяжения 0.86 % в пленке Ge при росте структуры Ge/Ge_{0.9}Sn_{0.1}/Si.

Ключевые слова: эпитаксия, дифракция, гетероструктуры, тонкие пленки, параметр решетки, деформация, кривая качания, карта обратного пространства, ИК-фотоприемник, КМОП-транзистор.

Введение

На сегодняшний день большое внимание к классу материалов Ge–Si–Sn вызвано возможностью их применения как в самых современных КМОП-технологиях, так и в оптоэлектронике [1–3]. Несмотря на низкую растворимость Sn в Ge (< 1 %), большое несоответствие между параметрами решеток и нестабильность алмазоподобной структуры α -Sn, выращены монокристаллические пленки GeSn, GeSiSn с содержанием Sn вплоть до 20 % с использованием методов молекулярно-лучевой и газофазной эпитаксии [4–6]. Успех в получении таких соединений становится возможным вследствие значительных уровней замещения атомов Ge и Si атомами Sn в неравновесных условиях при низких температурах 100–350 °С.

Как оказалось, встраивание Sn в решетку Ge понижает его край поглощения ($\lambda = 1.55$ мкм) [7]. Таким образом, GeSn можно рассматривать как перспективный материал для фотодетекторов и применений в фотовольтаике, требующей значений ширины запрещенной зоны меньших, чем у Ge (0.8 эВ). Кроме того, сплав GeSn с содержанием Sn выше 10 % может стать прямозонным полупроводником [8] и будет весьма привлекательным не только для оптоэлектронных применений, но также для приборов с высокой подвижностью электронов, вследствие меньшей эффективной массой в Γ -долине. Наиболее значимой особенностью GeSiSn является возможность независимой регулировки постоянной решетки и ширины запрещенной зоны. Для одного и того же значения постоянной решетки можно получить значения ширины запрещенной зоны, отличающиеся более чем на 0.2 эВ, даже если концентрация Sn < 20 %. Это свойство может быть использовано для разработки многоцветных детекторов. Кроме того, изменяя состав и сохраняя параметр решетки при постоянном значении, как у Ge, с шириной запрещенной зоны близкой к 1 эВ, пленки GeSiSn могут использоваться в многокаскадных солнечных элементах [9].

Материалы, содержащие Sn, используются не только в качестве активных слоев, но и для изготовления пассивных буферных слоев с последующим ростом технологически значимых полупроводников. Так, для соединений GeSiSn путем изменения состава можно управлять величиной постоянной решетки, варьируя ей от 5.4 до 6.5 Å. Отсюда открывается возможность регулировать коэффициент термического расширения в диапазоне $(2.5–6.1) \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$. На сегодняшний день, только система GeSiSn может дать такую гибкость технологии, при которой и кристаллически и термически осуществляется согласование с соединениями $A^{III}B^V$ и $A^{II}B^{VI}$. Поэтому описанная методика использования буферных слоев GeSiSn позволяет преобразовать Si в универсальную платформу для разработки множества приборов [10, 11].

¹ Работа выполнена при поддержке РФФИ, грант № 14-32-50052- мол_нр.