

06;12

## Выращивание кристаллически совершенных $\text{Si-Si}_{1-x}\text{Ge}_x-(\text{Ge}_2)_{1-x}(\text{InP})_x$ структур из жидкой фазы

© А.С. Саидов, Э.А. Кошчанов, А.Ш. Раззаков, Ш.К. Исмаилов

Физико-технический институт НПО "Физика-Солнце" АН РУз, Ташкент

Поступило в Редакцию 12 февраля 1999 г.

Получены  $\text{Si-Si}_{1-x}\text{Ge}_x-(\text{Ge}_2)_{1-x}(\text{InP})_x$  структуры с промежуточным буферным слоем  $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$  на подложках кремния. На основе морфологических исследований, растровых картин и дифракционных спектров, а также электрофизических и люминесцентных свойств гетероструктур показано, что кристаллическое совершенство указанных структур зависит от подбора условий жидкофазной эпитаксии.

Известно, что полупроводниковые соединения  $\text{A}^3\text{B}^5$  и твердые растворы на их основе с присутствующими им уникальными свойствами относятся к весьма интересным для оптоэлектроники материалам. Следовательно, исследование возможностей получения таких материалов на относительно дешевых подложках, каким является кремний, остается одной из актуальных задач полупроводникового материаловедения.

В работе [1] нами была показана возможность получения твердых растворов  $(\text{Ge}_2)_{1-x}(\text{InP})_x$  на подложках кремния и были приведены результаты некоторых предварительных исследований. В настоящей работе приводятся результаты исследований возможностей эпитаксиального наращивания слоев полупроводниковых кристаллически совершенных твердых растворов замещения  $(\text{Ge}_2)_{1-x}(\text{InP})_x$  на подложках кремния с промежуточным буферным слоем  $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$  из индиевого раствора-расплава в едином технологическом цикле.

Рост осуществляется из раствора-расплава, ограниченного двумя горизонтально расположенными подложками, методом принудительного охлаждения. Процессу выращивания эпитаксиальных слоев твердых растворов предшествовал тщательный анализ литературных данных по растворимости Si, Ge, InP в различных металлических растворителях и в различных температурных интервалах с целью подбора

соответствующего растворителя. Так как используемый нами раствор-расплав является многокомпонентным, то при выборе его состава было необходимо учесть влияние межкомпонентного взаимодействия на растворимость их в жидкой фазе. Поскольку такие данные в литературе отсутствуют, для уточнения состава раствора-расплава были также проведены предварительные эксперименты по изучению индиевого угла диаграммы состояния многокомпонентной системы In-Si-Ge-InP.

Таким образом, был подобран соответствующий состав раствора-расплава In-Si-Ge-InP и температурный интервал для выращивания эпитаксиальной структуры  $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x-(\text{Ge}_2)_{1-x}(\text{InP})_x$  на подложках кремния в едином технологическом цикле. Рост осуществлялся в интервале температур 700–850°C, скорость принудительного охлаждения 1.0–1.5 grad/min.

Подложками служили монокристаллические шайбы кремния ( $d = 25-30$  mm) марки КЭФ ( $n = 5 \cdot 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ ) и КДБ ( $p = 1.1 \cdot 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ ), имеющие разориентации от  $0^\circ 15'$  до  $3^\circ$  по отношению к кристаллографическому направлению [111]. Толщина эпитаксиальных слоев изменялась в интервале 15–25  $\mu\text{m}$  в зависимости от температуры начала кристаллизации и интервала выращивания, от состава жидкой фазы, расположения подложек по отношению раствора-расплава, а также от скорости принудительного охлаждения. Морфологические исследования скола структуры и поверхности эпитаксиальных слоев, которые приводились при помощи металлографического микроскопа МИМ-8М, показали, что зеркальногладкие эпитаксиальные слои, при прочих равных условиях, растут на подложках кремния с наименьшей разориентацией ( $0^\circ 15'$ ).

Структурное совершенство выращиваемых слоев зависело также от величины зазора ( $\delta$ ) между горизонтально расположенными подложками, значения которого можно было варьировать в интервале  $\delta = 0.25-2.5$  mm при помощи специальных графитовых подпорок. Наиболее совершенные по структуре слои твердых растворов как на верхних, так и на нижних подложках получены при  $\delta = 0.25-0.6$  mm. При значениях  $\delta > 0.6$  mm качество слоев, выращенных на верхних подложках, существенно ухудшалось. Исследование распределения компонентов по толщине эпитаксиального слоя, определенное при помощи микроанализатора САМЕСА, показало, что при поддержании определенного технологического режима роста на начальном этапе на подложке кремния кристаллизуется слой  $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$ , начиная с кремния.

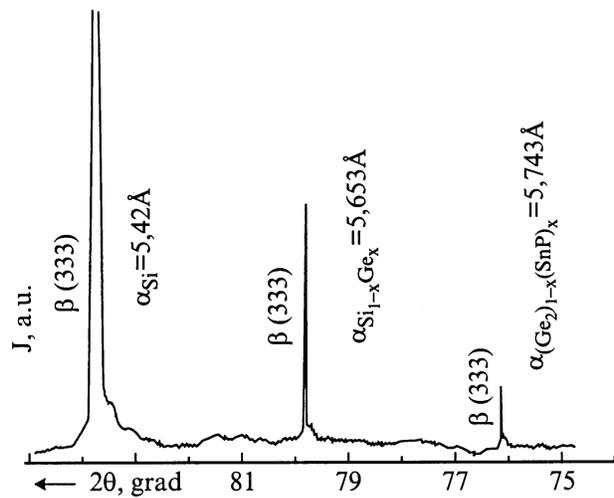


Рис. 1. Дифрактограмма гетероструктур  $\text{Si-Si}_{1-x}\text{Ge}_x-(\text{Ge}_2)_{1-x}(\text{InP})_x$ .

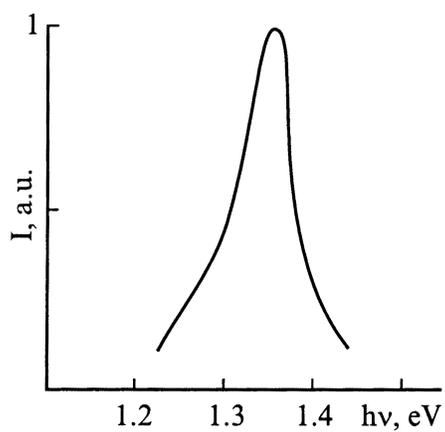


Рис. 2. Спектральная зависимость фотолуминесценции при 77 К, полученной с поверхности  $\text{Si-Si}_{1-x}\text{Ge}_x-(\text{Ge}_2)_{1-x}(\text{InP})_x$  структур.

Далее промежуточный слой  $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$  постепенно переходит в варизонный слой твердого раствора  $(\text{Ge}_2)_{1-x}(\text{InP})_x$  с содержанием InP, увеличивающимся вдоль направления роста. Отношения толщин слоев  $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$  к  $(\text{Ge}_2)_{1-x}(\text{InP})_x$  можно было варьировать в зависимости от условий роста.

Исследование структурного совершенства слоев методом рентгеновской дифракции на установке ДРОН-УМ1 показало, что выращенные эпитаксиальные слои твердых растворов  $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x-(\text{Ge}_2)_{1-x}(\text{InP})_x$  отличаются хорошей монокристаллическостью и наименьшими напряжениями, о чем свидетельствует отсутствие на дифрактограмме пиков, соответствующих фазам, отличающимся от исходных. Дифракционные спектры получали путем непрерывной записи на излучениях медного анода ( $\lambda = 1.5418\text{\AA}$ ,  $\lambda = 1.3922\text{\AA}$ ). Напряжение и ток анода составляли 30 kV и 10 mA соответственно. Время экспозиции варьировалось в интервале 1–3 h. Оценены (рис. 1) постоянные кристаллических решеток подложки и эпитаксиальных слоев  $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$ ,  $(\text{Ge}_2)_{1-x}(\text{InP})_x$ , которые составили 5.420, 5.653 и 5.743 Å соответственно.

Исследовали спектральную зависимость фотолюминесценции при 77 K, полученную с поверхности эпитаксиальных  $\text{Si-Si}_{1-x}\text{Ge}_x-(\text{Ge}_2)_{1-x}(\text{InP})_x$  структур. При этом краевая полоса излучения соответствовала ширине запрещенной зоны фосфида индия 1.34 eV, что свидетельствует о том, что поверхность эпитаксиального слоя является по составу InP (рис. 2).

Исследованы некоторые электрофизические свойства пленок, выращенных на высокоомных подложках. Определено удельное сопротивление, тип проводимости и концентрация носителей заряда при температуре 300 K ( $\rho = 0.1-1 \Omega \cdot \text{cm}$ ,  $n = 2.8-5 \cdot 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ ). Тип проводимости пленок электронный.

Таким образом, показана возможность выращивания кристаллически совершенных эпитаксиальных слоев твердых растворов  $(\text{Ge}_2)_{1-x}(\text{InP})_x$  на подложках кремния из жидкой фазы подбором соответствующих условий роста.

## Список литературы

[1] Саидов А.С. // ДАН УзССР. 1991. № 1. С. 17–19.