

- [1] П л о т н и к о в А.И., Р е м б е з а С.И., Л о г и - н о в В.А. // Письма в ЖТФ. 1989. Т. 15. № 10. С. 55.
 [2] Ч а л м е р с Б. Теория затвердевания. М.: Металлургия, 1968. 288 с.
 [3] Г и в а р г и з о в Е.И. Искусственная эпитаксия. М.: Наука, 1988. 176 с.

Воронежский
 политехнический
 институт

Поступило в Редакцию
 22 мая 1989 г.

Письма в ЖТФ, том 15, вып. 14

26 июля 1989 г.

06.2

РЕЛАКСАЦИЯ ФАЗОВОЙ ГРАНИЦЫ ПРИ КОНТАКТЕ
 РАСТВОРА-РАСПЛАВА $Sn - Al - Ga - As$
 С ПОДЛОЖКОЙ $GaAs$

С.Г. Ж и л е н и с, В.Ч. С т а н к е в и ч

Известно, что в многокомпонентных системах процесс релаксации неравновесной границы раздела „расплав-кристалл“ проходит путем растворения „старой“ или роста „новой“ твердой фазы с одновременным образованием диффузионного слоя, являющегося твердым раствором, содержащим все элементы жидкой и твердой фаз [1, 2]. Согласно работам [1, 3] в системе $Al - Ga - As / GaAs$ в процессе релаксации фазовой границы происходит лишь незначительное растворение подложки $GaAs$ с образованием на ее поверхности слоя твердого раствора $Al_xGa_{1-x}As$ толщиной порядка 10 нм. Однако недавно нами обнаружено [4], что добавление олова в раствор-расплав $Al - Ga - As$ приводит к сильному растворению подложки $GaAs$ со скоростью порядка 10^{-3} см/с и образованию структуры типа полупроводник - металл- полупроводник, представляющей собой слой твердого раствора $Al_xGa_{1-x}As$, пространственно отделенный от подложки прослойкой металла. В данной работе приведены результаты исследования процесса формирования такой структуры при изотермическом контакте раствора-расплава $Sn - Al - Ga - As$ с подложкой $GaAs$.

Эксперименты проводились в кварцевом реакторе при 1000-1200 К в потоке H_2 с использованием графитовых контейнеров пенального типа. Компоненты для приготовления раствора-расплава закладывали в камеру на вспомогательную подложку $GaAs$ и выдерживали при заданной температуре в течение 90 мин. После отжига раствор-расплав при той же температуре на определенное время

совмещали с другой (рабочей) подложкой $GaAs$. Полученные образцы подвергались визуальному исследованию и анализу состава с помощью рентгеноанализатора и Оже-спектрометра.

Установлены следующие закономерности. Во всем диапазоне составов раствора-расплава релаксация фазовой границы происходит путем растворения подложки с одновременным образованием зародышей новой твердой фазы (твердого раствора $Al_xGa_{1-x}As$), которые в дальнейшем, разрастаясь, образуют сплошной слой. Соотношение скоростей растворения подложки и роста новой твердой фазы зависит от концентрации в растворе-расплаве олова χ_{Sn} и алюминия χ_{Al} . При $\chi_{Sn} < 0.6$ формирование фазовой границы происходит по механизму, описанному в работе [3]. Когда $\chi_{Sn} > 0.6$, соотношение скоростей растворения и роста, как и структура фазовой границы, сильно зависит от χ_{Al} . При $\chi_{Al} > 0.005$ растворение подложки незначительно. Толщина сформировавшегося на ее поверхности слоя $Al_xGa_{1-x}As$ составляет несколько десятков нанометров. При $\chi_{Al} < 0.002$ скорость растворения подложки существенно превышает рост новой твердой фазы и составляет в начальный момент контакта 10^{-3} – 10^{-4} см/с. Кристаллизация твердого раствора происходит в виде отдельных островков на поверхности подложки. В следствие большой скорости растворения эти островки могут отделиться от поверхности подложки и расти самостоятельно. По мере обеднения жидкой фазы алюминием и уменьшения скорости растворения неотделившиеся островки твердого раствора срастаются и образуют сплошной слой неодинаковой толщины.

Существенный интерес для технологии полупроводников представляют составы раствора-расплава ($\chi_{Sn} > 0.6$, $0.002 < \chi_{Al} < 0.005$), при которых скорости растворения подложки и роста новой твердой фазы приблизительно равны. В этом случае изотермический контакт раствора-расплава с подложкой приводит к образованию структуры типа полупроводник – металл – полупроводник, представляющий собой слой твердого раствора $Al_xGa_{1-x}As$, пространственно отделенный от подложки $GaAs$ прослойкой металла (см. рис. 1). Слой твердого раствора толщиной порядка 1 мкм формируется в течение нескольких секунд контакта и имеет монокристаллическую структуру с кристаллографической ориентацией, параллельной ориентации подложки. Металлическая прослойка имеет толщину 5–50 мкм и состоит из Ga и Sn с незначительными включениями $GaAs$.

Для объяснения процесса формирования структуры полупроводник-металл-полупроводник воспользуемся идеей, высказанной в работе [5], согласно которой в начальный момент контакта между жидкой фазой и поверхностным слоем подложки должен происходить обмен атомами. В результате этого обмена часть атомов галлия в подложке заменяется атомами алюминия, т.е. на поверхности подложки формируется одноатомный слой замещения, представляющий собой твердый раствор $Al_xGa_{1-x}As$. При этом концентрация алюминия в жидкой фазе уменьшается. Согласно изотерме ликвидуса системы $Sn - Al - Ga - As$ [6], уменьшение алюминия в растворе-расплаве повышает растворимость мышьяка, т.е. жидкая фаза в процессе образования слоя замещения становится ненасыщенной.

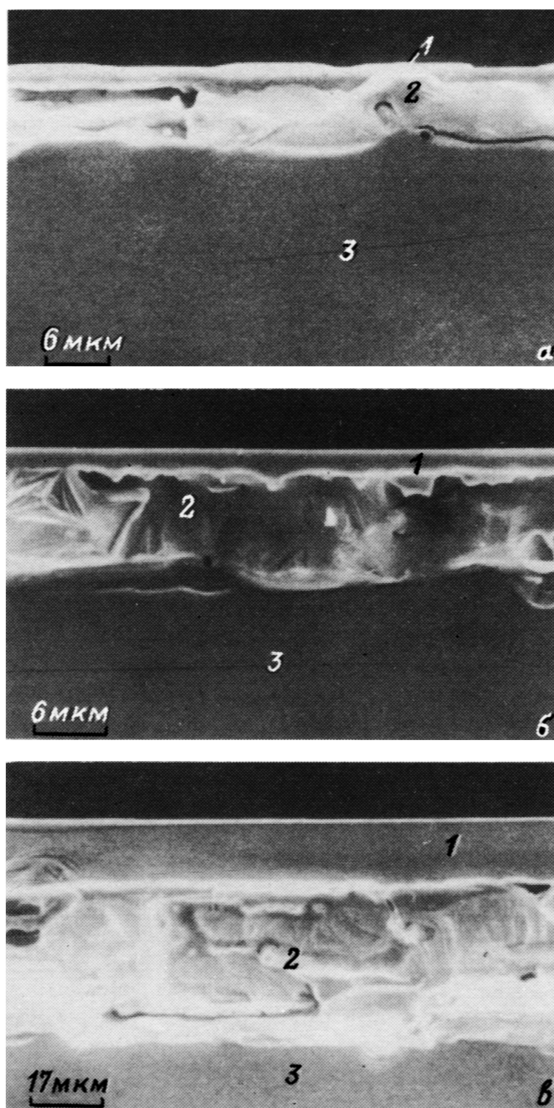


Рис. 1. Скол структур полупроводник-металл-полупроводник, полученных при контакте подложки $GaAs$ с раствором-расплавом $Sn - Al - Ga - As$ в течение: а - 2 с, б - 60 с, в - 60 с, с последующим охлаждением на 50 К со скоростью 0.5 К/мин, при температуре: а, б - 1030 К, в - 1100 К. $\chi_{Sn}=0.8$, $\chi_{Al}=0.003$. 1 - слой $Al_xGa_{1-x}As$, 2 - металл $Sn + Ga$, 3 - подложка $GaAs$.

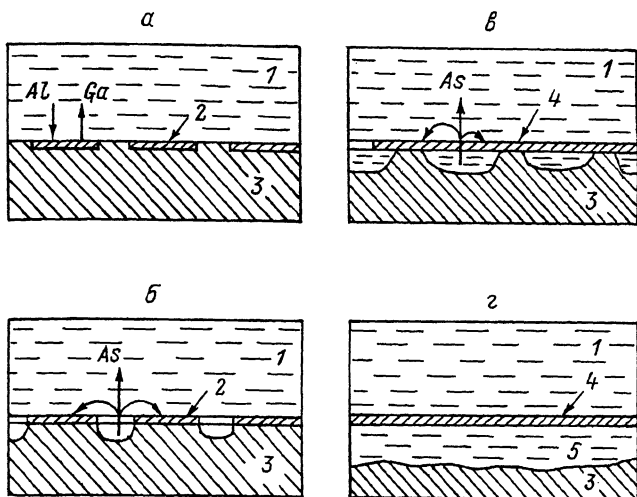


Рис. 2. Модель образования структуры полупроводник-металл-полупроводник в системе $Sn - Al - Ga - As / GaAs$. 1, 5 - раствор-расплав $Sn - Al - Ga - As$; 2 - слой замещения; 3 - подложка $GaAs$; 4 - слой $Al_xGa_{1-x}As$.

Пусть в начальный момент контакта жидкой и твердой фаз слой замещения успевает сформироваться только на отдельных участках поверхности подложки (рис. 2, а). Тогда области недосыщенной жидкой фазы будут расположены в окрестности этих участков. Насыщение жидкой фазы может быть достигнуто либо путем растворения части слоя замещения [5], либо растворением подложки $GaAs$ на соседних участках, не защищенных этим слоем. Поскольку энергия взаимодействия мышьяка с алюминием больше нежели с галлием, то насыщение жидкой фазы должно идти преимущественно путем растворения $GaAs$ (рис. 2, б). В результате растворения жидкая фаза становится насыщенной, но концентрация алюминия в ней меньше, а концентрация мышьяка - больше, чем в остальном объеме раствора-расплава. Поскольку коэффициент диффузии алюминия больше мышьяка [1], выравнивание концентрации алюминия проходит быстрее, и жидкая фаза, примыкающая к участкам слоя замещения, становится уже пересыщенной. Пересыщение создает условия для кристаллизации твердого раствора на участках слоя замещения (рис. 2, в). Наибольшее пересыщение создается в области границы раздела участков травления и роста. Поэтому направление максимальной скорости роста зародышей $Al_xGa_{1-x}As$ лежит в плоскости поверхности подложки (рис. 2, в). Травление подложки в незащищенных местах происходит как в направлении перпендикулярном, так и в параллельном ее поверхности. Поэтому в процессе релаксации островки образовавшегося твердого раствора от подложки отделяются. Если к моменту отделения эти островки уже срослись, то при дальнейшем их развитии они сохраняют ориентацию заданную подложкой. Это объясняет тот факт, что в полученной в процессе

релаксации структуре полупроводник – металл– полупроводник слой $Al_xGa_{1-x}As$ имеет кристаллографическую ориентацию, параллельную ориентации подложки.

Отделившийся слой $Al_xGa_{1-x}As$ растет до тех пор, пока существует приток мышьяка из растворяющейся подложки. После образования сплошного слоя (рис. 1, б, 2, г) процесс релаксации прекращается. По окончании релаксации возможно дальнейшее выращивание слоя $Al_xGa_{1-x}As$ путем принудительного охлаждения раствора и получение многослойных структур с заданными параметрами (рис. 1, в). Металлическая прослойка благодаря высокой концентрации олова образует омический контакт к слою $Al_xGa_{1-x}As$, обладающий низким контактным сопротивлением, а также обеспечивает возможность отделения слоя от подложки путем нагрева до 500 К.

С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] S m a l l M.B., G h e z R. // J. Appl. Phys. 1979. V. 50. N 8. P. 5322.
- [2] Б о л х о в и т я н о в Ю.Б. Единый механизм релаксации неравновесной границы раздела жидкое/твердое перед жидко-фазной гетероэпитаксией соединений Ш-У. Препринт № 27. Институт физики полупроводников Сибирского отделения АН СССР. Новосибирск, 1988. 50 с.
- [3] В о л к х о в и т я н о в Тu.B., В о л к х о в и т я н о в а R.J. // Phys. Stat. Sol. (a). 1987. V. 99. P. 159.
- [4] Ж и л е н и с С.Г., С т а н к е в и ч В.Ч. Релаксация фазовой границы расплав – кристалл при контакте $GaAs$ с раствором–расплавом $Al_xGa_{1-x}As$. В кн.: Тезисы докладов УП Всес. конф. по росту кристаллов, ч. II, М., 1988. С. 309.
- [5] Б а р а н о в А.Н., В а л а ц к а К., Л и д е й к и с Т.Н., Я к о в л е в Ю.П. // Неорганические материалы. 1981. Т. 17. № 3. С. 402.
- [6] P a n i s h M.B. // J. Appl. Phys. 1973. V. 44. N 6. P. 2667.

Институт физики
полупроводников
АН Лит. ССР,
Вильнюс

Поступило в Редакцию
28 апреля 1989 г.