

ЭВТЕКТИЧЕСКИЕ КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ ПОЛУПРОВОДНИКОВ

Блинова С.С.,

научный руководитель канд. хим. наук Спектор Ю.Е.

Сибирский федеральный университет

Применение элементарных полупроводников германия и кремния, бинарных соединений арсенида галлия, арсенида индия, антимонида индия, антимонида галлия, твердых растворов на их основе и других соединений уже не удовлетворяет всем разнообразным и специфическим требованиям полупроводниковой электроники.

В настоящее время ведутся поиски новых, более эффективных полупроводниковых материалов. Одно из направлений этого поиска – создание эвтектических композиционных материалов на основе полупроводников. Полупроводниковые эвтектические композиции, благодаря сочетанию ряда свойств нескольких материалов, позволили получать материалы с уникальными магнитными и оптическими свойствами.

Для получения направленно кристаллизованных эвтектических слитков использовали зонную плавку с индукционным нагревом и метод Бриджмена-Стокбаргера. Зонную плавку проводили на установке «Кристалл-ДМ».

Кристаллизацию осуществляли в вакуумированных до $1,3 \cdot 10^{-1}$ Па и запаянных кварцевых ампулах диаметром 6 и 13 мм.

Для анализа направленно кристаллизованных эвтектик $A^{III}B^V$ с германием и кремнием был применен комплекс электрофизических методов, включая методы измерения коэффициентов электропроводности и термоэдс при комнатной температуре, метод постоянного тока и постоянного магнитного поля при определении эффекта Холла.

Для расчета электрофизических свойств фаз бинарных эвтектических сплавов применили модель параллельного и последовательного соединения проводников в двухфазной ориентированной структуре. Были получены уравнения, которые использовали для расчета коэффициентов электропроводности B и термоэдс α и параллельно (\parallel), и перпендикулярно (\perp) направлению расположения фаз направленного закристаллизованного бинарного эвтектического сплава.

После кристаллизации составляющие эвтектические фазы $A^{III}B^V$ и C^{IV} взаимно легированы. Фаза $A^{III}B^V$ легирована германием или кремнием, а C^{IV} легирована одновременно элементами третьей и пятой групп. При оценке взаимного легирования учитывали определяющие дефектные состояния в фазах эвтектического слитка. Для решения этой задачи использовали термодинамический метод квазихимических реакций. Поскольку эвтектические слитки представляли собой регулярные, двухфазные системы, то квазихимические реакции образования и ионизации дефектов и соответствующие им выражения закона действующих масс записывали отдельно для каждой фазы. При этом предполагали, что в процессе кристаллизации из общего расплава успело установиться и сохранялось в твердом состоянии химическое равновесие.

Эвтектические сплавы GaSb-Ge, JnSb-Ge, и Ge-GaAs имеют р-тип проводимости. Тип проводимости определяется дефектами, возникающими в фазах эвтектических сплавов.

В фазе $A^{III}B^V$ преобладающим электрически активным дефектом является германий, занимающий место в субрешетке сурьмы Ge_{Sb} или мышьяка Ga_{Ge} и проявляющий при этом акцепторные свойства.

Фаза германия легирована совместно донорной и акцепторной примесью. Концентрация акцепторов преобладает и определяет дырочный тип проводимости фазы.

Анализ квазихимических реакций, оценка тетраэдрических радиусов, значений электроотрицательностей, типа проводимости эвтектик и их составляющих позволили сделать вывод, что доминирующими дефектами в эвтектических сплавах GaSb-Ge, JnSb-Ge, и Ge-GaAs являются Ge_{Sb} и Ga_{Ge} , Ge_{Sb} и Jn_{Ge} , Ga_{Ge} и Ge_{As} соответственно.

Эвтектические сплавы GeAs-Si и JnAs-Ge имеют n-тип проводимости. Электронный тип проводимости GeAs-Si определяется дефектными состояниями Si_{Ga} и As_{Si} , а в JnAs-Ge донорами As_{Ge} и Ge_{Jn} .

Установлено, что нелегированные эвтектические сплавы являются сильно и сложно легированными полупроводниками с отрицательным температурным коэффициентом электропроводности.

Легирование эвтектических сплавов GaSb-Ge, JnSb-Ge, GaAs-Ge, GaAs-Si и JnSb-Ge осуществляли элементами II, III, IV, V, VI и VIII групп периодической системы Д.И. Менделеева. В качестве легирующих элементов использовались цинк, галлий, свинец, теллур и никель. Концентрация легирующих примесей составляла 10^{17} - 10^{21} см³.

По длине слитков при всех концентрациях примеси удельная электропроводность возрастает, а коэффициент термоэдс уменьшается.

На большинстве исследуемых эвтектиках и в составляющих фазах введение легирующих добавок приводит к незначительному росту β и снижению α . Изменение концентрации носителей заряда коррелирует с изменением удельной электропроводности. Особенность заключается в том, что ни один эвтектический слиток не изменил свой тип проводимости при легировании примесями предполагаемого донорного или акцепторного типа.

Легирование цинком. Цинком легировали эвтектики GaSb-Ge, JnSb-Ge и JnAs-Ge. Цинк в эвтектике GaSb-Ge в фазе антимонида галлия замещает атомы Zn'_{Ga} и действует при этом как акцептор. Совместное легирование Ge и Zn не изменяет р-тип проводимости фазы GaSb. Это объясняется преимущественным расположением Zn в субрешетке Ga. В фазе германия цинк, замещая германий, проявляет акцепторные свойства. При концентрации больше 10^{19} см⁻³ цинк, по-видимому, начинает располагаться в междоузлии, действуя при этом как донор. Не исключена возможность образования нейтральных комплексов, так как кроме цинка в фазу германия входят совместно галлий и сурьма. Общий характер изменения электропроводности GaSb-Ge, легированных Zn определяется изменением электропроводности в фазах GaSb и Ge. В эвтектическом сплаве JnSb-Ge цинк образует такие же дефектные состояния, как и в эвтектическом сплаве GaSb-Ge.