

- [4] Карпова И. В., Сабликов В. А., Сыровегин С. М. — ФТП, 1982, т. 16, в. 11, с. 1963—1968.
 [5] Завадский Ю. И., Корнилов Б. В. — ФТТ, 1969, т. 11, в. 6, с. 1494—1504.
 [6] Гостев А. В., Рау Э. И., Спивак Г. В. — Изв. АН СССР, сер. физ., 1984, т. 48, в. 2, с. 299—302.
 [7] Смит Р. Полупроводники. М., 1982. 560 с.

Получено 8.06.1987
 Принято к печати 24.03.1988

ФТП, том 22, вып. 8, 1988

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ТИПА ПРОВОДИМОСТИ ЭВТЕКТИЧЕСКИХ СПЛАВОВ $A^{III}B^V-Ge$ (Si)

Леонов В. В.

Известно, что тип проводимости легированных монокристаллов полупроводников $A^{III}B^V$, Ge и Si определяется донорным или акцепторным влиянием примеси. Поэтому ожидалось сохранение подобной закономерности при легировании эвтектических сплавов $A^{III}B^V-Ge$ (Si) акцепторными примесями Zn, Ga, донорными Sb, Te и нейтральными Pb, Ni при их содержании $10^{15}-10^{20}$ см⁻³.

Оказалось, что тип проводимости эвтектических сплавов не изменяется в результате легирования, а именно сплавы InSb—Ge, GaSb—Ge имеют *p*-тип проводимости, InAs—Ge, GaAs—Ge, GaAs—Si — *n*-тип. Возникают следующие вопросы: почему тип проводимости эвтектического сплава не зависит от вида примеси и какими факторами он определяется?

Во-первых, отсутствие влияния примеси возможно из-за меньшей концентрации ее по сравнению с взаимной растворимостью компонентов эвтектики. Во-вторых, при введении примеси донорного характера (акцепторного) может увеличиваться взаимная растворимость компонентов эвтектики.

Тип проводимости фаз эвтектического сплава определяется видом и концентрацией имеющихся электрически заряженных дефектов. При избытке в одной из фаз электронов, а в другой — дырок будет наблюдаться процесс перетекания носителей заряда из одной фазы в другую, и тип проводимости при этом определяется типом носителей заряда, преобладающих в первой фазе. Если объем одной из фаз (матрицы) намного больше другой (включения), то тип проводимости сплава будет определяться типом проводимости матрицы.

Дефектами в германии (кремнии) являются акцепторы A'_{Ge} и доноры B'_{Ge} , а в соединении $A^{III}B^V$ — доноры Ge'_A или Si'_A и акцепторы Ge'_B или Si'_B из-за амфотерности германия и кремния.

Для прогнозирования типа проводимости эвтектических сплавов $A^{III}B^V-Ge$ (Si) необходимо определить фазу-матрицу и основной тип дефектов в ней. Если компоненты эвтектики имеют значительно различающиеся температуры плавления, то, как известно, матрицу будет образовывать компонент с более низкой температурой плавления. Прогнозировать преобладающий тип дефектов в матрице можно на основе данных о радиусах компонентов и их средства к электрону.

В работе [1] приведены температуры плавления соединений, °C: AlN > 2400, AlAs > 1600, GaP — 1500, Si — 1420, GaAs — 1237, InP — 1062, AlSb — 1050, Ge — 958, InAs — 942, GaSb — 712, InSb — 525. Из двух компонентов (соединение или простое вещество) один, расположенный в данном ряду правее, будет, как правило, образовывать матрицу. Например, в эвтектическом сплаве Si—GaP матрица образована на основе кремния.

Значения электроотрицательности, по Паулингу и Хайсинскому [1], следующие: N — 3.0, P — 2.1, As — 2.0, B — 2.0, Sb — 1.8, Si — 1.8, Ge — 1.7, Ga — 1.6, In — 1.6, Al — 1.5. Замещение благоприятно между атомами с близкими значениями электроотрицательности. Германий в соединениях в порядке убывания образует дефекты Ge'_{Ga} , Ge'_{In} , Ge'_{Sb} , Ge'_{Al} , Ge'_B , Ge'_{As} , Ge'_P , Ge'_N ,

кремний — Si'_{Sb} , Si_{Ga} , Si'_{In} , Si_B , Si'_{As} , Si'_{Al} , Si'_P , Si'_N . Если происходит легирование германия или кремния элементами III и V групп, то меняются местами примесный и замещаемый элементы и изменяется тип дефекта с донора на акцептор, или наоборот, в приведенных рядах. В случае одинаковой разницы электроотрицательностей двух пар элементов необходимо дополнительно учитывать близость в радиусах атомов. Тетраэдрические радиусы элементов, Å [2]: In — 1.44, Sn — 1.40, Sb — 1.36, Ga — 1.26, Al — 1.26, Ge — 1.22, As — 1.18, Si — 1.17, P — 1.10, B — 0.88, N — 0.70. Следовательно, наиболее вероятны дефекты в $A^{III}B^V$ с примесью германия (в порядке убывания): Ge_{Ga} , Ge_{Al} , Ge'_{As} , Ge'_P , Ge'_{Sb} , Ge_{In} , Ge_B , Ge'_N , с примесью кремния: Si'_{As} , Si'_P , Si'_{Al} , Si_{Ga} , Si'_{Sb} , Si'_{In} , Si_B , Si'_N .

Рассмотрим в качестве примера эвтектики InSb—Ge и InAs—Ge. Матрица указана на первом месте в соответствии с соотношением температур плавления. Рассмотрим электрически заряженные дефекты в матрице, определяющей тип проводимости всего слитка. Знак дефекта в квадратных скобках обозначает его концентрацию. В соответствии с электроотрицательностью в фазе InSb с примесью германия равновероятны дефекты $[Ge'_{Sb}]$ и $[Ge_{In}]$, а стерический фактор указывает на преимущество акцепторов над донорами, т. е. $[Ge'_{Sb}] > [Ge_{In}]$. Следовательно, по прогнозу эвтектика InSb—Ge должна иметь p -тип проводимости, что и подтверждается экспериментальными данными; аналогично для примеси германия в соединении матрицу InAs запишем через электроотрицательность $[Ge_{In}] > [Ge'_{As}]$, и соответственно будет n -тип проводимости. Действительно, матрица InAs и обе фазы эвтектики InAs—Ge имеют n -тип проводимости.

Для неизученного эвтектического сплава Si—GaP можно предсказать в соответствии с электроотрицательностью соотношение $[Ga'_{Si}] > [P_{Si}]$. Значит, матрица Si и эвтектический сплав Si—GaP будут иметь p -тип проводимости.

Вывод. Тип проводимости эвтектических сплавов $A^{III}B^V$ —Ge (Si) определяется преимущественным типом дефектов фазы-матрицы. Если температуры плавления компонентов эвтектического сплава значительно отличаются друг от друга, то матрицей сплава является компонент с более низкой температурой плавления.

Л и т е р а т у р а

- [1] Хилсум К., Роуз-Инс А. Полупроводники типа $A^{III}B^V$. М., 1963. 400 с.
 [2] Крегер Ф. Химия несовершенных кристаллов. М., 1969. 328 с.

Красноярский институт
 цветных металлов им. М. И. Калинина

Получено 10.08.1987
 Принято к печати 25.03.1988

ФТП, том 22, вып. 8, 1988

НЕУСТОЙЧИВОСТЬ ХОЛОДНЫХ ЭЛЕКТРОНОВ В ПОЛУПРОВОДНИКАХ

Ваксер А. И.

1. Неравновесное статическое состояние разогретых носителей заряда (электронов) во многих однородных однокомпонентных физических системах описывается одномерным уравнением диффузии [1-4]

$$dQ(T, \lambda)/dz = W(T, \lambda), \quad (1)$$

где $Q(T, \lambda)$ — плотность потока тепла, $W(T, \lambda)$ — мощность его выделения, $T(z)$ — температура электронов, λ — внешний параметр (ток, амплитуды внешних полей и др. [1-4]), z — координата. Свойства установившегося состояния в таких системах существенно зависят от соотношения между величинами $W(T, \lambda)$, $Q(T, \lambda)$ и коэффициентом нелинейной поверхностной теплопередачи