

УДК 539.2+537.2

Н.В. Ганина

Физико-химические особенности изовалентного легирования полупроводников

Московская Государственная академия тонкой химической технологии им. М.В. Ломоносова

Статья представляет обзор литературы, посвященный основным аспектам состояния и поведения изовалентных примесей (ИВП) в полупроводниках. Рассмотрены отличия поведения этих примесей в германии, кремнии и полупроводниках III – V: знакопеременные отклонения от закона Рауля, существование в жидкой фазе полупроводник – ИВП областей упорядочения, соответствующие тройным химическим соединениям III – V – ИВП; пригодность ИВП, как легирующих примесей, так и растворителя при выращивании эпитаксиальных кристаллов.

Рассмотрены механизмы действия ИВП и эффекты их проявления: трансформация области гомогенности полупроводникового соединения, перераспределение амфотерной примеси по подрешеткам соединения III – V, “очистка” полупроводника изовалентным легированием, изменение степени компенсации полупроводника, снижение плотности дислокации и замедление распада твердого раствора полупроводник-примесь в присутствии ИВП.

Статья поступила до редакції.2002; прийнята до друку 2002

Содержание

- I. Введение
- II. Механизмы действия ИВП
- III. Эффекты изовалентного легирования
 - 3.1. Трансформация области гомогенности полупроводникового соединения
 - 3.2. Перераспределение амфотерной примеси по подрешеткам соединения $A^{III} B^V$
 - 3.3. “Очистка” полупроводника изовалентным легированием
 - 3.4. Изменение степени компенсации полупроводника
 - 3.5. Влияние на дислокационную структуру
 - 3.6. Влияние на распад твердого раствора

I. Введение

К изовалентным примесям (ИВП) относятся элементы, расположенные в тех же группах Периодической системы, что и элементы, образующие полупроводник. Поэтому физико-химические аспекты поведения таких примесей рассматривались лишь применительно к бинарным (для Ge, Si) и квазибинарным для соединений типа III-V, II-VI, IV-VI и др. системам, характеризующимся в основном неограниченностью твердых растворов замещения катионного и

анионного типа. При этом считалось, что основные фундаментальные свойства таких твердых растворов – период кристаллической решетки и ширина запрещенной зоны – меняются монотонно с составом. Сказанное относится к твердым растворам с макросодержанием изовалентных атомов от единиц до десятков ат. %. Исследования в области термодинамики растворов при малых значениях (менее 1-2 ат. %) одного из компонентов и физико-химический анализ подобных систем полупроводник-ИВП выявили принципиальное отличие в природе разбавленных растворов

полупроводник-ИВП от концентрированных. Эти отличия показали невозможность переноса представлений о физико-химической природе донорных и акцепторных примесей в полупроводниках на поведение ИВП при их “микросодержании”. Кратко отличия в физико-химическом поведении ИВП можно сформулировать следующим образом:

- экспериментальные исследования, выполненные методами электродвижущей силы гальванического элемента и дифференциальной калориметрии выявили знакопеременные отклонения от закона Рауля [1]. Отрицательные для разбавленных и положительные для концентрированных растворов InSb-Bi;
- исследования давления пара над жидкими растворами InAs-Bi и InP-Bi выявили положительные отклонения от закона Рауля и тенденции к расслаиванию в жидкости [2];
- измерения электропроводности, вязкости и плотности жидких растворов InSb-GaSb и InAs-GaAs несмотря на квазибинарный характер этих систем и присущую им неограниченную растворимость компонентов, показали, что в жидкой фазе существуют области упорядочения, соответствующие тройным химическим соединениям типа Ga_2InSb_3 , и In_2GaSb_3 [3];
- прецизионные методы измерения периодов кристаллической решетки и интенсивностей диффузного рассеяния рентгеновских лучей позволили установить, что ИВП при определенных формах их введения в полупроводник могут занимать в твердых растворах кристалл-ИВП одновременно узельные и межузельные позиции. Примерами могут служить $GaAs\langle Sb \rangle$, $GaAs\langle In \rangle$, $InSb\langle Bi \rangle$ и др. [4].

Самой важной особенностью физико-химического поведения ИВП является их двоякая роль в полупроводниках: с одной стороны они являются идеальными растворителями (Ga, In, Bi, InBi, In_2Bi , Sn и др.), обладающие низкими значениями температур плавления и давления пара, а с другой – пригодны в качестве легирующих примесей в технологии выращивания эпитаксиальных слоев методом жидкофазовой эпитаксии. Это приводит к существенному снижению температуры кристаллизации и возможности получать полупроводниковые слои с пониженной концентрацией дефектов.

II. Механизмы действия ИВП

Влияние ИВП на свойства полупроводника происходит двумя путями — через жидкую и через твердую фазы.

В жидкой фазе добавка ИВП увеличивает число входящих в нее компонентов и поэтому если выращивание кристалла без ИВП происходит из n -компонентного раствора, то с ИВП – из $(n+1)$ -

компонентной жидкой фазы. При этом в n входят и различные фоновые примеси кроме основных составляющих. Типичным примером является эпитаксиальное выращивание GaAs. Основные компоненты GaAs и Ga, а основной фоновой примесью является Si. Степень попадания кремния в растущий кристалл характеризуется коэффициентом распределения $K_{Si}=(C_{тв}/C)$. При добавке в жидкую фазу примеси индия или сурьмы в ней из-за взаимодействий In или Sb с Si будет изменяться коэффициент распределения примеси кремния, попадающей в растущий кристалл. Конечно коэффициент распределения самих ИВП будет зависеть от содержания ИВП в жидкой фазе и от температуры.

Иными словами, в условиях изовалентного легирования происходит сдвиг гетерогенного равновесия в системе расплав-растущий слой. Поэтому можно сразу утверждать, что наиболее эффективно фоновые примеси будут взаимодействовать с теми ИВП, для которых будет максимальным термодинамический параметр взаимодействия [5]. Ниже этот качественный вывод будет подтвержден количественными оценками.

Воздействие ИВП на ансамбль точечных дефектов в твердой фазе связано с взаимодействием с вакансиями. Поскольку ИВП являются незаряженными, то это взаимодействие, по-видимому, можно рассматривать как чисто упругое. Оно достаточно подробно рассмотрено теоретически в [6]. Точечный дефект рассматривается как источник внутренних напряжений. Главный результат теории состоит в вычислении энергии взаимодействия $E(r)$ дефектов, которая для изотропного кристалла имеет вид:

$$E(r) \sim r^{-6}, \quad (1)$$

где r – расстояние между двумя дефектами. Из этого выражения видно, что в первую очередь следует учитывать взаимодействие ИВП с другими дефектами, например, с вакансиями, расположенными в первой координационной сфере. Вероятность встречи дефектов в соседних узлах кристаллической решетки будет определяться как [7]:

$$W_{V-ИВП} = 12aN_V N_{ИВП} D_V, \quad (2)$$

где a – период решетки кристалла; D – коэффициент диффузии наиболее подвижного дефекта – вакансии; N_V и $N_{ИВП}$ – соответственно концентрации вакансий и ИВП.

Если вместо ИВП рассматривается обычная электрически заряженная примесь, например, кремний, вероятность встречи с вакансией будет:

$$W_{V-Si} = 12lN_V N_{Si} D_V, \quad (3)$$

где l – радиус боровской орбиты.

Для оценки возьмем GaAs, для которого $l \approx 83,3 \text{ \AA}$ и $a \approx 5,5 \text{ \AA}$. Принимая $N_{Si} = 1 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$ и $N_V = 5 \cdot 10^{19} \text{ см}^{-3}$ найдем $W_{V-ИВП} / W_{V-Si} \gg 1$ как для галлиевых, так и для мышьяковых вакансий, т.е. вероятность встречи дефектов оказывается выше при взаимодействии вакансий с ИВП, а не с кремнием.

Интенсивность комплексообразования ИВП с другими примесями в кристалле связана с природой последних и их концентрацией. Соотношение между концентрациями двух комплексов Z_1 и Z_2 , образованными примесями C_1 и C_2 , можно записать в виде

$$Z_1 / Z_2 = (C_1 / C_2) \exp(Q_1 - Q_2) / kT, \quad (4)$$

где Q_1 и Q_2 – энергии связи в комплексах.

Доминирующим будет процесс образования комплексов с атомами примесей, либо с большей энергией связи, либо с теми, что находятся в большей концентрации.

Приведенный выше пример комплексов V-ИВП и V-Si как раз характерен для случая большой концентрации ИВП по сравнению с N_{Si} . Другим примером является GaAs с изовалентными примесями In или Sb в концентрациях 10^{18} - 10^{20} см⁻³.

Для нелегированного GaAs характерно присутствие в кристаллах ассоциированных дефектов N_1 и N_2 (рис. 1), в состав которых входят атомы кремния, вакансии галлия в ассоциат N_1 и вакансии мышьяка – в ассоциат N_2 [8, 9]. Легирование GaAs примесью сурьмы уменьшает концентрацию N_2 , а легирование индием приводит к обратной картине [10, 11]. Аналогичные данные имеются и по центру N_1 [10, 11]. Эти результаты указывают на уменьшение концентрации вакансий галлия при введении ИВП сурьмы и на увеличение их концентрации при легировании индием. Этот вывод был подтвержден закономерным перераспределением амфотерной примеси Ge по подрешеткам в GaAs в присутствии ИВП [9].

Наряду со связыванием вакансий, ИВП способны и, наоборот, генерировать вакансии. Этот процесс связан с представлениями ИВП, как источнике упругого искажения кристаллической решетки. Из-за этого в кристалле в области размещения примеси в пределах десятка ангстрем [10, 11] энергия образования дефекта отличается от ее значения в безпримесном кристалле. В результате изменяется в целом средняя концентрация дефектов в кристалле.

В [12] теоретически показано, что общая концентрация вакансий V при ИВП – легировании определяется как

$$V = V_0 (1 + N\Omega_0 \exp Q), \quad (5)$$

где V – концентрация вакансий в кристалле без примесей; N – концентрация примесей, Ω_0 – объем потенциальной ямы для дефекта, создаваемый в упругом поле примесными атомами [13], Q – энергия связи комплекса примесь – вакансия.

Этот результат подтверждается экспериментально, например, в образцах Si <Sn> [14] и в GaAs [15].

III. Эффекты изовалентного легирования

3.1. Трансформация области гомогенности полупроводникового соединения

Анализ состава среды кристаллизации на область гомогенности кристаллизуемого соединения, т.е. на равновесие собственных точечных дефектов удобно рассмотреть на примере кристаллов III-V, получаемых растворов-расплавов, содержащих ИВП.

Качественную оценку равновесия собственных точечных дефектов можно провести, основываясь на рассмотрении равновесия квазихимических реакций, описывающих их образование, так как это сделано в [15]. Принимая, что основными видами собственных точечных дефектов являются вакансии компонентов $A^{III}(V_A)$ и $B^{III}(V_B)$, а также межузельные атомы $B^V(B_i)$ и полагая, что ИВП образуют твердые растворы

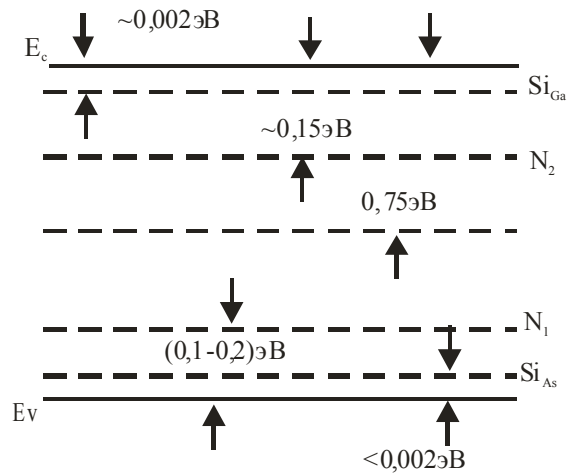


Рис. 1. Энергетическая схема основных дефектов в нелегированном GaAs.

замещения, эти реакции можно записать в виде:



где A^* и B^* – примеси, изовалентные элементам A и B соответственно; K – константы равновесия прямых квазихимических реакций.

В твердой фазе возможно взаимодействие собственных точечных дефектов, описываемое реакцией



Концентрации точечных дефектов, выраженных в атомных долях можно записать, пользуясь уравнениями (6)-(9) в виде:

$$[V_A] = 8K_1K_2K_4a_A^1a_A^1a_B^1, \quad (11)$$

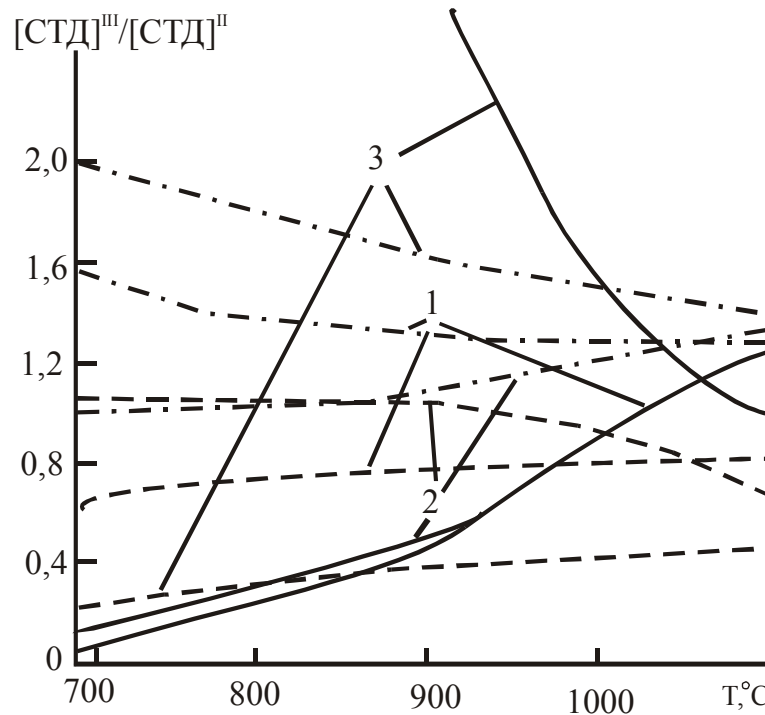


Рис. 2. Расчетные температурные зависимости относительного изменения концентрации СТД в GaAs при кристаллизации из 3-х компонентной (Ga – As – ИВП) жидкой фазы (сплошные линии – $[V_{Ga}]$, штриховые – $[V_{As}]$, штрихпунктирные – $[As_i]$; ИВП; 1 – In, 2 – Sb, 3 – Bi; расчет для $C_{ИВП}^{TB} = 4,4 \cdot 10^{20} \text{ см}^{-3}$ в случае In и Sb; для Bi $C_{ИВП}^{TB}$ соответствует пределу растворимости; индекс II относится к 2-х компонентной системе Ga-GaAs.

$$[V_B] = 2K_1 a_A^1, \quad (12)$$

$$[B_i] = 0,25 / K_1 K_4 a_A^1, \quad (13)$$

$$[A_A^*] = K_3 a_A^1 / 2K_1 a_A^1, \quad (14)$$

$$[B_B^*] = K_3 a_B^1 / 8K_1 K_2 K_4 a_A^1 a_B^1, \quad (15)$$

Из последних пяти уравнений видно, что концентрации всех дефектов находятся в подвижном

равновесии, зависящим от величина a_i^1 и K . Первые рассчитывают по известным соотношениям для регулярных растворов, а константы равновесия реакций – по алгоритму, рекомендованному в [17]. Знание величин a_i^1 и K_1-K_4 позволяют рассчитать концентрации собственных точечных дефектов в $AB\langle A^* \rangle$ или $AB\langle B^* \rangle$ в зависимости от температуры и концентрации ИВП. Такие расчеты были выполнены для GaAs <ИВП> в [18], в InAs<ИВП> в [19], в GaSb<ИВП> [20]. В качестве примеров приведем рисунки (2)-(4).

Следует отметить, что в GaSb значительную роль играют антиструктурные дефекты. В этом случае к перечисленным выше основным дефектам автор [20] принимал и дефекты типа Ga_{Sb} . Результаты расчетов показаны на рис. 5.

Все приведенные расчетные результаты показывают, что влияние ИВП на концентрацию собственных точечных дефектов возрастает с понижением температуры, при этом наибольшее возмущающее действие на равновесие дефектов оказывает Bi.

3.2. Перераспределение амфотерной примеси по подрешеткам соединения $A^{III}B^V$

В [21] показано, что катионно-анионные амфотерные примеси в равновесных условиях имеют строго определенное термодинамически

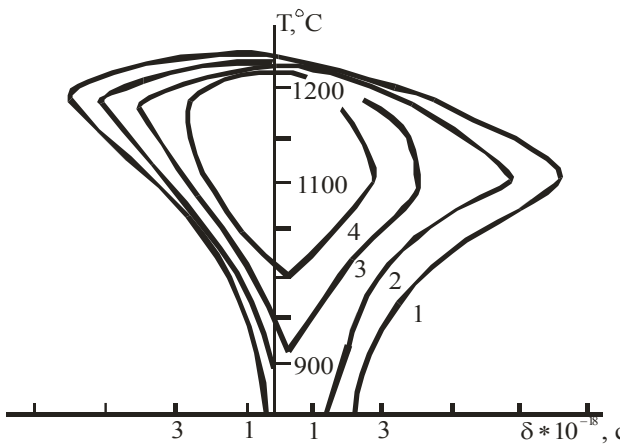


Рис. 3. Политермические сечения областей гомогенности GaAs<Bi> для $C_{ИВП}^{TB}$, см^{-3} : 0(1), $1 \cdot 10^{18}$ (2), $3 \cdot 10^{18}$ (3), $5 \cdot 10^{18}$ (4).

распределение по подрешеткам кристалла – соединения. Поскольку легирование ИВП приводит к трансформации области гомогенности, то следует ожидать и перераспределения амфотерной примеси

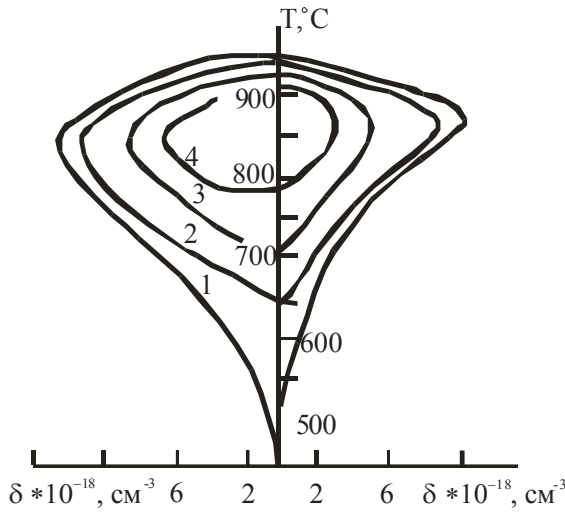


Рис. 4. Политермические сечения областей гомогенности InAs<Bi> для $C_{ИВП}^{TB}$, C, см⁻³: 0(1), $2 \cdot 10^{18}$ (2), $8 \cdot 10^{18}$ (3), $1,4 \cdot 10^{19}$ (4).

по подрешеткам в присутствии ИВП. Действительно, в [9] экспериментально было установлено такое перераспределение (рис. 6).

3.3. “Очистка” полупроводника изовалентным легированием

Воздействие ИВП через жидкую фазу на коэффициенты распределения фоновых примесей способно привести к снижению их концентрации в растущем кристалле, т.е. – к своеобразному эффекту очистки от фоновых примесей. Выше мы отметили, что наибольший эффект следует ожидать от тех ИВП, которые обладают максимальным термодинамическим параметром взаимодействия с фоновой примесью. Теперь рассмотрим этот вопрос количественно.

Параметр взаимодействия в жидкой фазе ω^l можно оценить для систем с неограниченной растворимостью в жидкой фазе и практическим отсутствием ее в твердой фазе, каковыми и являются системы, например, ИВП–Si, по соотношению [5]:

$$\omega^l = \frac{\Delta H_{Si}^l (1 - \frac{T}{T_f}) + RT \ln x_{Si}^l}{1 - x_{Si}^l}, \quad (17)$$

где T_{Si}^f и ΔH_{Si}^l температура и энтальпия плавления фоновой примеси; x_{Si}^l – атомная доля кремния в жидкой фазе.

Результаты оценок ω^l в случае взаимодействия кремния с ИВП для GaAs приведены на рис. 7. Видно, что наибольшее значение ω_{Si}^l

характерно для системы Si–Bi. Поэтому экспериментальную проверку эффекта “ИВП – очистки” авторы [22] предприняли при выращивании эпитаксиальных слоев GaAs из расплава висмута. Опытные данные обнаруживают резкое снижение

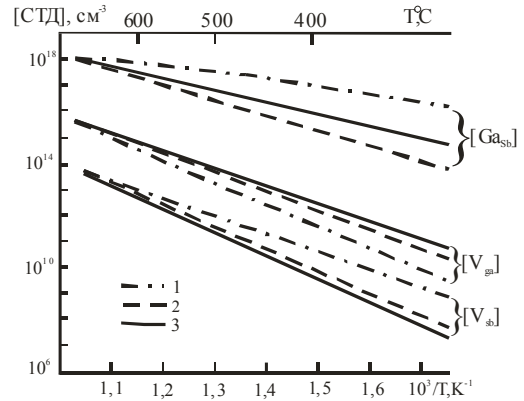


Рис. 5. Температурные зависимости концентрации STD в GaSb, получаемом из растворов на разной основе. 1 – Ga и 2 – Sn; для случая кристаллизации из Vi-растворов зависимость близка к (2); 3 – расчет без учета влияния активностей компонентов в жидкой фазе.

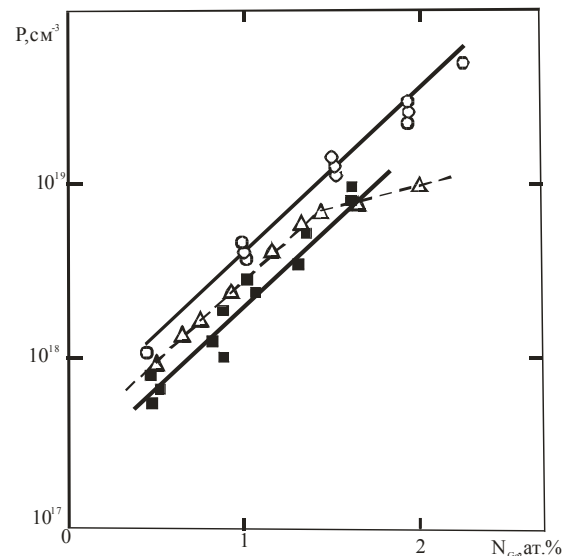


Рис. 6. Зависимость концентрации дырок p в эпитаксиальных слоях GaAs<ИВП, Ge> от содержания германия в растворе-расплаве. Δ – GaAs<Ge>; \circ – GaAs_{1-x}Sb_x<Ge> $x = 0,006$; \blacksquare Ga_{1-x}In_xAs<Ge> $x = 0,006$.

концентрации электронов и повышение их подвижности, а примесный фон (рис. 8) снизился до $8 \cdot 10^{15}$ – $3 \cdot 10^{16}$ см⁻³ по сравнению с $8 \cdot 10^{16}$ – $6 \cdot 10^{17}$ см⁻³ в контрольных образцах без висмута.

Еще один разительный пример эффекта ИВП-очистки был установлен в [23] в результате исследования фотолуминесценции эпитаксиальных слоев GaAs с примесями. Результаты представлены на рис. 9. Из него видно, что легирование индием сильно снизило полосу излучения при 1,4 эВ, а из

рис. 1 понятно, что это соответствует излучательному переходу электронов с уровней центров в зону проводимости. Иными словами примесь индия значительно понизила концентрацию

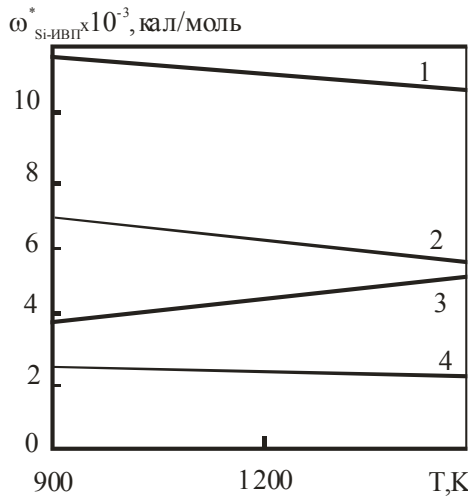


Рис.7. Температурная зависимость параметра взаимодействия в жидкой фазе для систем Si-ИВП; 1 – Si<Bi>, 2 – Si<In>; 3 – Si<Sb>; 4 – Si<Ga>.

этих фоновых центров.

3.4. Изменение степени компенсации полупроводника

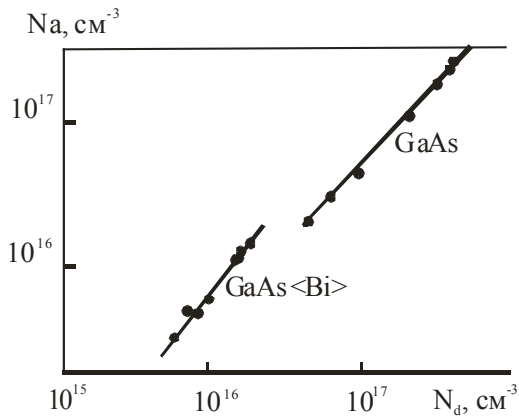


Рис. 8. Связь концентраций акцепторов и доноров в образцах GaAs и GaAs<Bi>.

Прямым следствием эффекта ИВП-очистки является изменение степени компенсации мелких примесей в полупроводнике. Из наклонов кривых того же рис. 8 видно, что степень компенсации GaAs<Bi>, составляющая $k = N_a / N_d = 0,8$ оказалась выше, чем 0,5 в образцах без висмута. В предположении, что компенсация обусловлена амфотерностью фоновой примеси кремния, этот результат свидетельствует одновременно и о перераспределении амфотерной примеси по подрешеткам Ga и As в присутствии висмута.

Поскольку в [24] было показано, что $k \sim p_{As}^{-2}$, то наблюдаемое на опыте повышение степени компенсации однозначно говорит об уменьшении p_{As} над растущим кристаллом при выращивании его из расплава висмута по сравнению с обычным

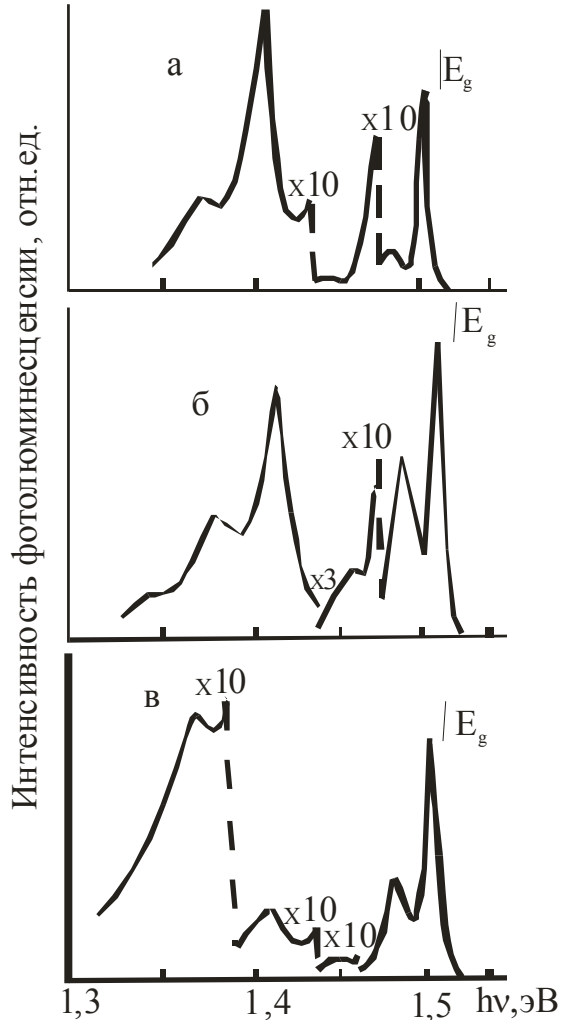


Рис. 9. Спектры фотолюминесценции при $T = 2 K$ по данным [23]. а – GaAs_{1-x}Sb_x ($x = 0,0034$); б – GaAs; в – Ga_{1-x}In_xAs ($x = 0,007$).

выращиванием из расплава галлия. Это действительно имеет место, как было установлено прямыми измерениями [25].

Изменения степени компенсации изовалентным легированием были более подробно исследованы по спектрам фотолюминесценции в [26] и по электрическим свойствам кристаллов с ИВП в [11].

3.5. Влияние на дислокационную структуру

Влияние примесей на макроскопическую пластичность и подвижность дислокации до использования ИВП рассматривалось как проявление электрической активности примесей. Но существовал и другой взгляд [27], по которому при $T \geq 0,7T^1$

превалирует упругое взаимодействие примесных атомов с дислокациями. Использование ИВП, находящихся в незаряженных состояниях в кристаллах однозначно подтвердило этот второй взгляд [28] на примере монокристаллов с примесями индия или сурьмы.

3.6. Влияние на распад твердого раствора

Упругая деформация кристаллической решетки, обусловленная введением примесей, оказывает влияние и на дефектообразование, обусловленное распадом пересыщенных твердых

растворов. Если примесь “распирает” кристаллическую решетку, то она замедляет процесс распада, сопровождающийся образованием выделений с большим, чем у матрицы удельным объемом. Примером такого влияния может служить замедление распада пересыщенного твердого раствора кислорода в монокристаллах кремния при легировании его ИВП Ge и Sn [29].

Автор глубоко благодарен В.И. Фистулю за полезные советы во время выполнения данной работы.

- [1] Ермаков А.В., Егоркин В.В., Уфимцев В.Б. // *ЖФХ*, **27**(6), сс. 1544-1546 (1982).
- [2] Евгенийев С.Б. // *ЖНХ*, **32**(11), сс. 2781-2784 (1987).
- [3] Глазов В.М., Тимошин А.С., Уфимцев В.Б. // *ДАН СССР*, **218**(5), сс. 1097-1099 (1974).
- [4] Акчурин Р.Х., Зиновьев В.Г., Уфимцев В.Б. и др., // *ФТП*, **16**(2), сс. 202-206 (1982).
- [5] Свелин Р.А. *Термодинамика твердого состояния*. – М.: Металлургия, 1968. – 314 с.
- [6] Косевич А.М. *Основы механики кристаллической решетки*. – М.: Наука, 1972. – 280 с.
- [7] Фистуль В.И. *Распад пересыщенных полупроводниковых твердых растворов*. – М.: Металлургия, 1977. – 240 с.
- [8] Рыгова КС., Соловьева Е.В., Мильвидский М.Г. // *ФТП*, **16**, сс. 1491-1494 (1982).
- [9] Соловьева Е.В., Рыгова Н.С., Мильвидский М.Г., Ганина Н.В. // *ФТП*, т.15, сс.2141-2146 (1981).
- [10] Бирюлин Ю.Ф., Ганина Н.В., Чалдышев В.В. // *ФТП*, **15**, сс. 1348-1351 (1981).
- [11] Соловьева Е.В., Мильвидский М.Г., Ганина Н.В. // *ФТП*, **16**, сс. 1810-1815 (1982).
- [12] Мильвидский М.Г., Рыгова Н.С., Соловьева Е.В. // *Цвет. мет.*, **8**, сс. 23-26 (1991).
- [13] Рыгова Н.С., Соловьева Е.В. // *ФТП*, **20**, сс. 1380-1387 (1986).
- [14] Соловьева Е.В., Лейферов Б.М., Потоцкий А.Г. // *ФТП*, **18**, сс. 1573-1576 (1984).
- [15] Та L.B., Hobgood H.M., Thomas R.N. // *Appl Phys. Lett.*, v.41, pp. 1091 – 1093 (1982).
- [16] Акчурин Р.Х., Лиль Т. // *ЖФХ*, **64**, сс. 1906-1919 (1990).
- [17] Акчурин Р.Х. // *ЖФХ*, **62**, сс. 1764-1770 (1988).
- [18] Акчурин Р.Х. // *Кристаллография*, 1989, **34**, сс. 520-523.
- [19] Акчурин Р.Х., Донская И.О., Дулин С.И., Уфимцев В.Б. // *Кристаллография*, **33**, сс. 464-470 (1988).
- [20] Акчурин Р.Х. // *Кристаллография*, **38**, сс. 198-204 (1993).
- [21] Фистуль В.И. *Амфотерные примеси*. – М.: Металлургия, 1992. – 240 с.
- [22] Ганина Н.В., Уфимцев В.Б., Фистуль В.И. // *Письма ЖТФ*, **8**(10), сс. 620 – 623 (1982).
- [23] Бирюлин Ю.Ф., Ганина Н.В., Мильридский М.Г. и др. // *ФТП*, **17**(1), сс. 108-114 (1983).
- [24] Рыгова Н.С., Фистуль В.И. // *ФТП*, **4**, сс. 1109-1116 (1970).
- [25] Акчурин Р.Х., Ле Динь Као, Нишанов ДН. и др. // *Изв. АН СССР, сер. Неорг. мат.*, **22**, сс.9-12 (1986).
- [26] Бирюлин Ю.Ф., Ганина Н.В., Чалдышев В.В. и др. // *ФТП*, **19**, сс. 1104-1107 (1985).
- [27] Milvidsky M.G., Osvensky V.B., Shifrin S.S. // *J. Cryst. Growth*, 1981, **52**(3), pp. 396-403.
- [28] Большева Ю.Н., Григорьев Ю.А., Мильвидский М.Г. // *Кристаллография*, **27**, сс. 722728 (1982).
- [29] Бабицкий, Горбачева Н.И, Гринштейн П.М. // *ФТП*, **18**, сс. 1303-1312 (1982).

N.V. Ganina

Physical-Chemical Peculiarity of Isovalence Doping of Semiconductors

‘M.V. Lomonosov’ Moskov State Academy of subtle Chemical Technology

This article is a reference review, about basic aspects of state and behavior of isovalence doping (ID) in semiconductors. Difference at behavior of these doping in germanium, silicone and III-V semiconductors: sign-various derivation from Raul’s law, exist on liquid phase of semiconductor – ID order regions, correspond to triple chemical compounds III – V – ID; availability ID, as doping impurities, as the solvent at grown the epitaxial crystals.

Вплив алюмінієвих та германієвих субатомних сурфактантних шарів...

The mechanisms of acting of ID and effects of their display is shown: transformations of homogeneity region of semiconductor compound, redistribution of amphoteric doping to sublattice of III-V compounds, semiconductor "cleaning" by isovalence doping, change of semiconductor rang of compensation, decrease of concentration of dislocation and deceleration of solid solution semiconductor-impurity decomposition at ID present.