

- [7] Saraie J., Shinohara H., Edamatzu H., Tanaka T. // J. Lumin. 1980. V. 21. N 4. P. 337—351.
 [8] Агринская Н. В., Аркадьева Е. В., Матвеев О. А. // ФТП. 1971. Т. 5. В. 5. С. 862—869.
 [9] Dean P. J., Williams G. M., Blackmore G. // J. Phys. D: Appl. Phys. 1984. V. 17. N 11. P. 2291—2300.
 [10] Бабенцов В. Н., Горбань С. И., Рашковецкий Л. В., Сальков Е. А. // Опт. и спектр. 1990. Т. 68. В. 6. С. 1397—1399.

Институт полупроводников АН УССР
 Киев

Получено 6.12.1990
 Принято к печати 20.12.1990

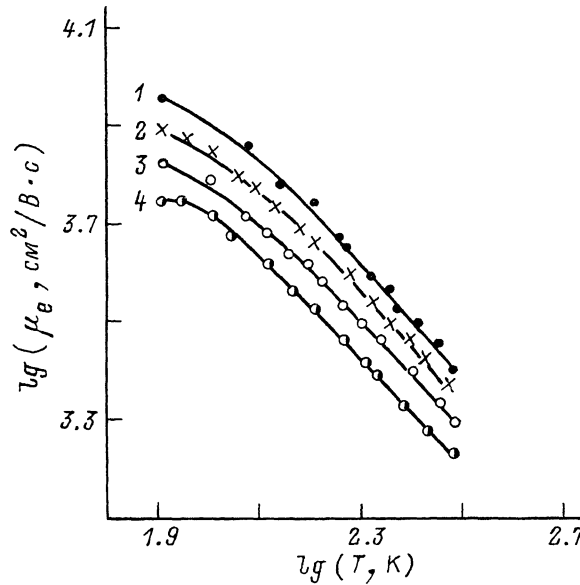
ФТП, том 25, вып. 4, 1991

ПОДВИЖНОСТЬ ЭЛЕКТРОНОВ В ТВЕРДЫХ РАСТВОРАХ ГЕРМАНИЙ—КРЕМНИЙ ПРИ РАССЕЯНИИ НА ФОНОНАХ И БЕСПОРЯДКАХ СПЛАВА

Аждаров Г. Х., Агаев Н. А., Кязимзаде Р. А.

В достаточно чистых монокристаллах твердых растворов бинарных систем в широкой области температур основными механизмами рассеяния носителей заряда являются фононы и беспорядки сплава. В настоящей работе представлены результаты исследований по изучению закономерностей изменения подвижности электронов μ_e в германиеподобных кристаллах Ge—Si с температурой и составом при доминировании указанных механизмов. Отметим, что к германиеподобным относятся составы кристаллов с содержанием Si до ~ 12 ат%, дно зоны проводимости которых формируется долинами в направлениях (111), как и в германии [1].

На рис. 1 представлены характерные температурные зависимости омической подвижности



омической подвижности

Рис. 1. Температурные зависимости омической подвижности электронов в кристаллах Ge—Si.

1 — 2.9 ат% Si, 2 — 5.1 ат% Si, 3 — 7.3 ат% Si, 4 — 10.1 ат% Si.

электронов μ_e в ряде германиеподобных кристаллов с концентрацией мелких примесных центров $N_D \sim 10^{14}$ см⁻³ в интервале 77—300 К. Кривые построены на основании экспериментальных данных холловской подвижности μ_H и холл-фактора r электронов ($\mu_e = \mu_H/r$) в кристаллах [2]. Ввиду достаточной малости N_D во всем рассматриваемом интервале температур доминирующими механизмами рассеяния электронов являются фононы и беспорядки сплава. Как видно из рис. 1, с ростом содержания Si в кристалле значение μ_e существенно падает. Например, в сплаве с 10.1 ат% Si при $T=300$ К $\mu_e \approx 1700$ см²/В·с, что почти в 2.5 раза ниже соответствующей величины в чистом Ge [3]. Это является свидетельством существенной роли беспорядков сплава в рассеянии электронов. Для разделения вклада в рассеяние электронов—фононов и беспорядков сплава поступим следующим образом. Как известно, в интервале 100—280 К в чистом германии при доминировании фононного рассеяния имеет место

$\mu_p = \alpha_{Ge} T^{-1.66}$ [3], где α — постоянная. Поскольку в германиеподобных кристаллах Ge—Si дно зоны проводимости состоит из долин (111), как и в Ge, можно думать, что и в этих кристаллах зависимость подвижности электронов от температуры будет также иметь вид $\mu_p = \alpha_{Ge-Si} T^{-1.66}$. Согласно теории Брукса, при рассеянии электронов на беспорядках сплава $\mu_c = \beta_c T^{-0.5}$ [4], где β_c — постоянная для каждого состава материала. Тогда в предположении аддитивности указанных механизмов при их совместном действии имеем [5]

$$\frac{1}{\mu_e} = \frac{1}{\mu_p} + \frac{1}{\mu_c} = \frac{T^{1.66}}{\alpha_{Ge-Si}} + \frac{T^{0.5}}{\beta_c}. \quad (1)$$

Для количественного определения вклада каждого из этих механизмов рассеяния необходимо определить значения α_{Ge-Si} и β_c . С этой целью был проведен анализ данных рис. 1 с помощью соотношения (1). Для каждого конкретного состава кристалла на основе (1) составляется система уравнений при двух фиксированных температурах T_1 и T_2 и соответствующих им эксперименталь-

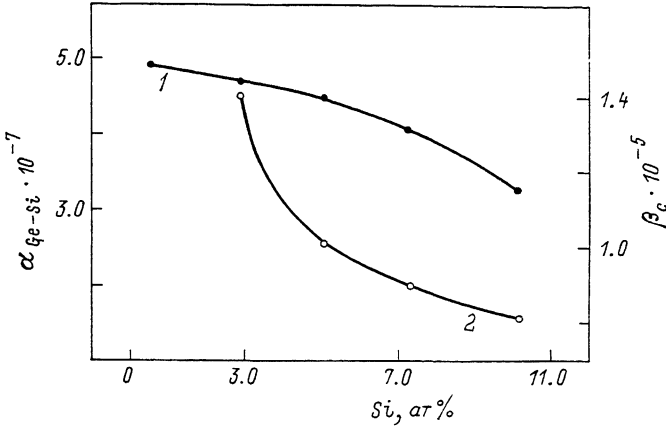


Рис. 2. Зависимость параметров α_{Ge-Si} (1) и β_c (2) от содержания кремния в германиеподобных кристаллах Ge—Si.

ных значениях μ_e и определяются значения α_{Ge-Si} и β_c . Очевидно, что при справедливости (1) системы уравнений, составленные для любой пары температур, должны давать одни и те же значения α_{Ge-Si} и β_c . Расчеты показали, что для каждого состава кристалла значения этих параметров остаются практически неизменными ($\pm 3\%$) в интервале 100—300 К. Это свидетельствует о том, что в кристаллах Ge—Si выполняются зависимости $\mu_p \sim T^{-1.66}$ и $\mu_c \sim T^{-0.5}$. При этом значения α_{Ge-Si} и β_c падают с ростом содержания кремния в кристалле. На рис. 2 представлены зависимости этих параметров от состава материала. Как видно из этого рисунка, величина α_{Ge-Si} , характеризующая эффективность фононного рассеяния, существенно падает с ростом Si и, например, в кристалле с 10.1 ат. % Si на 30 % ниже, чем в чистом Ge. Такое поведение согласуется с представлениями модели виртуального кристалла, если учесть, что μ_p в Si значительно ниже, чем в Ge [3].

Согласно теории Брукса, выражение для β_c в явном виде определяется формулой [4]

$$\mu_c = \frac{(2\pi)^{1/2} e \hbar^4 N_0}{3(m_d^*)^{3/2} k^{1/2} \alpha (1 - \alpha) \Delta U^2} T^{-1/2} \equiv \beta_c T^{-1/2}, \quad (2)$$

где N_0 — число атомов в единице объема материала, α — доля второго компонента в кристалле, ΔU — рассеивающий потенциал. Подставляя в (2) значения β_c из рис. 2 и заменяя в ней $m_d^{*3/2}$ на $m_d^{*3/2} m_c$ [6], для ΔU получим значения в интервале 1.4—0.95 эВ для составов, представленных на рис. 1. При этом рост концентрации Si приводит к спаду ΔU . Рассмотрим соответствие полученных значений ΔU с особенностями зонной структуры кристаллов. Энергетическое

расстояние между точкой L и потолком валентной зоны, соответствующее в Ge ширине запрещенной зоны, равно ~ 0.7 эВ. В кремнии это расстояние ~ 1.9 эВ [7], т. е. различие в энергиях электронов в точках L в Ge и Si составляет ~ 1.2 эВ. По Бруксу, эта величина должна быть порядка ΔU . Как видно, согласие удовлетворительное, если учесть приближенный характер теории Брукса. Отметим также то, что уменьшение ΔU с ростом Si в матрице следует из представлений модели виртуального кристалла.

Сплавное рассеяние электронов в кристаллах Ge—Si изучалось и в ранней работе [5]. Выделение μ_c из экспериментальных данных μ_c от T производилось также с помощью соотношения (1). При этом принималось, что $\alpha_{\text{Ge-Si}} = \alpha_{\text{Ge}}$ для всех германиеподобных составов. Такой подход привел к зависимости $\mu_c \sim T^{-x}$, где x изменялось от 0.7 до 0.85 для различных составов. Эти закономерности существенно отличаются от теоретической ($\sim T^{-0.5}$) и являются следствием упрощения, связанного с неучетом изменения эффективности фононного рассеяния электронов с составом кристалла.

Таким образом, результаты проведенных исследований подвижности электронов в кристаллах твердых растворов Ge—Si позволяют сделать следующее заключение. Подвижность электронов в германиеподобных кристаллах при сплавном рассеянии $\mu_c \sim T^{-0.5}/\alpha(1-\alpha)$ находится в соответствии с теорией Брукса. Эффективность рассеяния электронов на фононах растет с содержанием кремния в кристалле в соответствии с представлениями модели виртуального кристалла.

Список литературы

- [1] Herman F., Glicksman M., Parmenter R. A. // Prog. in Semicond. 1957. V. 2. P. 2—34.
- [2] Агаев Н. А., Мир-Багиров В. В., Аждаров Г. X. // Матер. докл. VII координационного совещ. по исследованию и применению твердых растворов [германий—кремний. Баку, 1990. С. 68—73.
- [3] Смит Р. Полупроводники. М., 1982. 558 с.
- [4] Makowski L., Glicksman M. // J. Phys. Chem. Sol. 1973. V. 34. P. 487—492.
- [5] Glicksman M. // Phys. Rev. 1958. V. 111. P. 125—128.
- [6] Аждаров Г. X. // Автореф. докт. дис. Баку, 1981.
- [7] Cohen M. L., Bergstresser T. K. // Phys. Rev. 1966. V. 141. P. 789—796.

Институт физики АН АзССР
Баку

Получено 10.12.1990
Принято к печати 20.12.1990

ФТП, том 25, вып. 4, 1991

ЛЮМИНЕСЦЕНЦИЯ ЭПИТАКСИАЛЬНЫХ СЛОЕВ 6H-SiC, ОБЛУЧЕННЫХ БЫСТРЫМИ ЭЛЕКТРОНАМИ

Вавилов В. С., Водаков Ю. А., Иванов А. И.,
Мохов Е. Н., Роевков А. Д., Чукичев М. В., Веренчикова Р. Г.

Известно, что облучение полупроводников высокоэнергетичными электронами или γ -квантами создает наиболее простые дефекты. При этом не возникают серьезные структурные нарушения до весьма больших доз облучения, дефектообразование происходит равномерно в слое достаточно большой толщины, т. е. практически во всем объеме полупроводниковых структур. Имеется целый ряд работ по изучению воздействия быстрых электронов на карбид кремния [1—6]. Однако наиболее интересны результаты по люминесценции метастабильного политапа 3C-SiC [3], а работы, посвященные гексагональным политипам [1, 2] и, в частности, 6H-SiC, сделаны на кристаллах, полученных по методу Лели, которые являются только подложечным материалом в современных карбид-кремниевых приборных структурах.

В настоящей работе исследуются особенности люминесценции эпитаксиальных слоев (ЭС), выращенных сублимационным «сэндвич-методом» и облучен-