

ПРОЦЕССЫ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ПРИМЕСНОЙ ПОДСИСТЕМЫ В ГАММА-ОБЛУЧЕННЫХ МОНОКРИСТАЛЛАХ GaAs:Te

В. И. Дубовик¹⁾, А. А. Невзгодов²⁾

¹⁾Институт сенсорной микроэлектроники СОРАН 644077, г. Омск, пр. Мура, 55 – А.
Dubovik@phy.omsu.omskreg.ru

²⁾Омский государственный университет, кафедра физики твердого тела
644077, г. Омск, пр. Мура, 55 – А

Приведены результаты исследования влияния γ -излучения на электропроводность, холловскую подвижность и концентрацию свободных носителей заряда в монокристаллах GaAs:Te (с $n_0=0,42 - 3,8 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$). Проведенные исследования показали, что в диапазоне поглощенных доз до 47 Мрад электропроводность для всех образцов остается постоянной, а значения холловской подвижности и концентрации изменяются не монотонным образом, причем максимум концентрации с увеличением степени легирования достигается при больших поглощенных дозах. Данные результаты объясняются взаимодействием примесной подсистемы кристалла и подвижных френкелевских дефектов, радиационного происхождения, а также изменением состояния структурных каналов проводимости.

Введение

Актуальность исследования процессов радиационного дефектообразования в полупроводниковых кристаллах обусловлена решением задачи, обеспечения стойкости элементов микроэлектроники в радиационных полях и перспективностью методов радиационной технологии при создании материалов с новыми свойствами.

В настоящей работе исследовалось влияние γ -излучения на удельную электропроводность (σ), холловскую подвижность (μ_H) и концентрацию (n) свободных носителей заряда в монокристаллах GaAs:Te с $n_0=(0,42 - 3,8) \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$, выращенных методом Чохральского (Гиредмет, г. Москва). Подготовка образцов осуществлялась по стандартной методике: механическая шлифовка, полировка и химическая обработка в полирующем травителе $\text{H}_2\text{SO}_4:\text{H}_2\text{O}_2:\text{H}_2\text{O}$ (3:1:1) для снятия механических напряжений. Измерения σ проводилось методом Ван-дер-Пау, а постоянной Холла методом ЭДС Холла в диапазоне температур 77-325 К. Омические контакты формировались на торцах образца, вплавлением индия при $T=500 \text{ K}$ в кратер, предварительно подготовленный электрическим пробоем. Для определения концентрации свободных носителей заряда использовались также оптические методы: ИК – поглощение (спектрофотометр UR-20), рамановское рассеяние (спектрофотометр RFS-100). Облучение образцов γ -квантами ^{60}Co с энергиями 1,17 и 1,33 Мэв проводилось на установке "Исследователь" при температуре $T_{\text{обл}}=300 \text{ K}$. Интенсивность γ -излучения (I_γ) составляла $0,24 \text{ Мрад} \cdot \text{час}^{-1}$.

Экспериментальные результаты

Концентрация свободных носителей заряда (n) и холловская подвижность носителей заряда определялась (μ_H) согласно [1,2]:

$$n = \frac{A}{e \square R}, \quad (1)$$

$$\mu_H = R_H \square \sigma, \quad (2)$$

где A – Холл-фактор, e – заряд электрона, R_H – коэффициент Холла.

Монокристаллы GaAs:Te в исследуемых диапазонах температур и концентраций являются вырожденными полупроводниками, для которых Холл-фактор равен единице [1,2].

Проведенные исследования показали, что в диапазоне поглощенных доз (D_γ) до 47 Мрад σ для всех образцов остается постоянной, а рассчитанные значения n и μ_H изменяются немонотонным образом (рис.1-4).

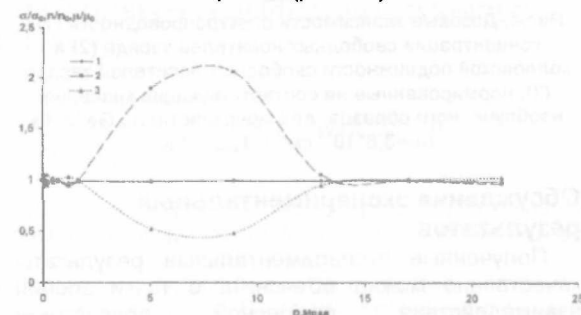


Рис.1. Дозовые зависимости электропроводности (1), концентрации свободных носителей заряда (2) и холловской подвижности свободных носителей заряда (3), нормированные на соответствующие значения необлученного образца, для монокристалла GaAs:Te ($n_0=0,42 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$), $T_{\text{изм}}=77 \text{ K}$

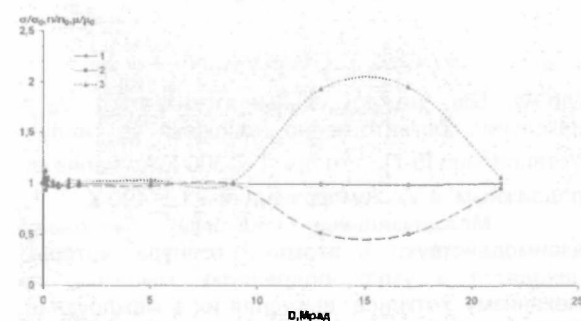


Рис.2. Дозовые зависимости электропроводности (1), концентрации свободных носителей заряда (2) и холловской подвижности свободных носителей заряда (3), нормированные на соответствующие значения необлученного образца, для монокристалла GaAs:Te ($n_0=1,2 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$), $T_{\text{изм}}=77 \text{ K}$

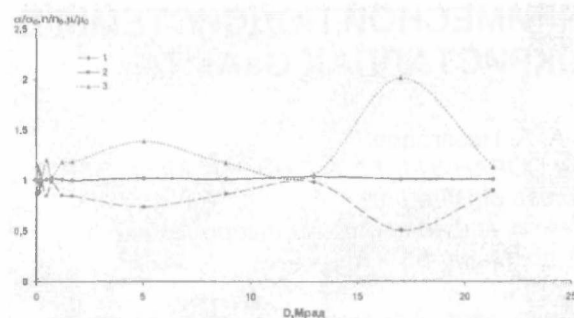


Рис.3. Дозовые зависимости электропроводности (1), концентрации свободных носителей заряда (2) и холловской подвижности свободных носителей заряда (3), нормированные на соответствующие значения необлученного образца, для монокристалла GaAs:Te ($n_0=2,6 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$), $T_{\text{изм}}=77 \text{ K}$

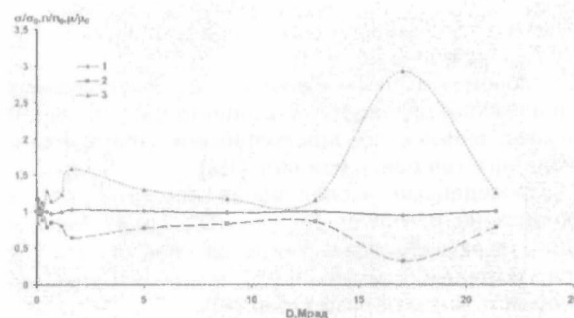
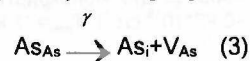


Рис.4. Дозовые зависимости электропроводности (1), концентрации свободных носителей заряда (2) и холловской подвижности свободных носителей заряда (3), нормированные на соответствующие значения необлученного образца, для монокристалла GaAs:Te ($n_0=3,8 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$), $T_{\text{изм}}=77 \text{ K}$

Обсуждение экспериментальных результатов

Полученные экспериментальные результаты качественно можно объяснить с точки зрения взаимодействия примесной подсистемы кристалла и подвижных френкелевских дефектов, образующихся в обеих подрешетках монокристаллов GaAs:Te при $T=300 \text{ K}$ и воздействии γ -излучения [3,5]:

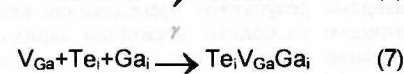


где As_i , Ga_i – междоузельные атомы, а V_{As} , V_{Ga} – вакансии соответственно мышьяка и галлия. Установлено [5-7], что при $T \geq 300 \text{ K}$ As_i является подвижным, а V_{As} заморожена при $T < 490 \text{ K}$.

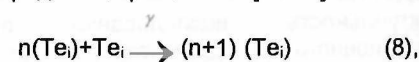
Междоузельные атомы мышьяка взаимодействуют с атомами теллура, которые находятся в узлах подрешетки мышьяка, по механизму Уоткинса, вытесняя их в междоузлие. Это приводит к уменьшению концентрации свободных носителей заряда, что, однако не исключает возможности обратной реакции:



Исследование процессов отжига в нелегированных и сильнолегированных монокристаллах GaAs:Te [9] позволило выдвинуть гипотезу об образовании расщепленных дефектов внедрения ($\text{Ga}_i\text{V}_{\text{Ga}}\text{Ga}_i$, $\text{Ga}_i\text{V}_{\text{Ga}}\text{Te}_i$, $\text{Te}_i\text{V}_{\text{Ga}}\text{Te}_i$). Подвижные V_{Ga} и Te_i , образовавшиеся в процессе γ -облучения, стимулируют появление подобных дефектов в кристалле:

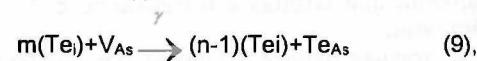


Междоузельные атомы теллура радиационного происхождения, взаимодействуют с кластерами теллура, ростового происхождения, увеличивая размеры кластеров, превышающих критический размер зародышеобразования [10-12]:



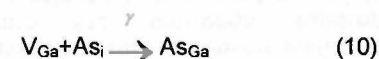
где n – число атомов Te в кластере

С другой стороны возможно растворение более мелких (размером меньше критического) кластеров теллура:

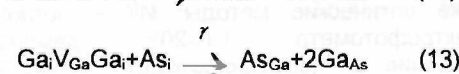
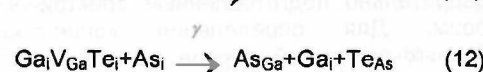
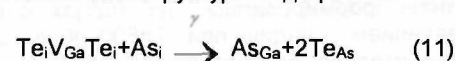


где $m < n$.

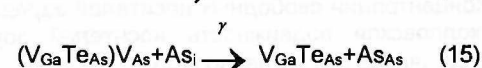
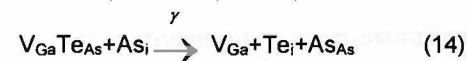
Известно [13], что при радиационном воздействии на полупроводниковые соединения $\text{A}^{\text{III}}\text{B}^{\text{V}}$ образуются антиструктурные дефекты донорного типа:



Расщепленные дефекты внедрения ($\text{Ga}_i\text{V}_{\text{Ga}}\text{Ga}_i$, $\text{Ga}_i\text{V}_{\text{Ga}}\text{Te}_i$, $\text{Te}_i\text{V}_{\text{Ga}}\text{Te}_i$) как ростового, так и радиационного происхождения взаимодействуют с подвижными компонентами реакций (3), (4), также могут способствовать образованию антиструктурных дефектов:



Вместе с тем проведенные ранее исследования фотолюминесценции γ -облученных монокристаллов [14,15] позволяют расширить ассортимент примесных дефектов, влияющих на процессы электронного транспорта:



Условия протекания перечисленных выше реакций определяются соотношениями между величинами p_{Te} , I_{γ} , D_{γ} , $T_{\text{обл}}$, где p_{Te} – общая концентрация теллура, включающая как донорные, так и кластерные состояния.

Подвижные компоненты реакций, по-видимому, влияют на состояния структурных каналов проводимости (модель Иоффе), определяющих электрические, гальваномагнитные свойства монокристаллов GaAs:Te и изменяющихся при определенных уровнях γ -облучения. Поглощенная доза излучения, при которой наблюдается аномальные значения гальваномагнитных характеристик, определяется при фиксированных значениях I_{H} и $T_{\text{обл}}$ уровнем легирования при выращивании монокристалла; с увеличением значения n_0 , соответствующие пики смещаются в область больших поглощенных доз γ -излучения.

Список литературы

1. Маделунг О. // Физика полупроводниковых соединений элементов III и V группы. - М.: Мир, 1967, с. 477.
2. Хилсум К., Роуз-Инс А. // Полупроводники типа A^{III}B^V. - М.: ИЛ, 1963, с. 188.
3. Луцкий Ч.Б., Луцкий А.Ч. // Распад электронных возбуждений с образованием дефектов в твердых телах. - М.: Наука, 1989г.
4. Емцев В.В., Машовец Т.В. // Примеси и точечные дефекты в полупроводниках. - М.: "Радио и связь", 1981г.
5. Точечные дефекты в твердых телах: Сб. статей; Пер. с англ. - М.: Мир, 1979г.
6. Pons D., Bourgoin J. *Phys. Rev. Lett.*, 1981, v.47, №18, p.1293-1296
7. Глинчук К.Д. // ФТП, 1980. - Т.14. - №9-с.1834.
8. Watkins G.D. *Lattice Defects in Semicond. Conf., Ser.* - №23,1. Inst. of Phys. - London-Bristol, 1975.
9. Fewster P.E. // *J. Phys.Chem.Solid.* - 1981. V.42 №10. - P.883 - 889.
10. Лифшиц И.М., Слезов В.В. // ЖЭТФ, 1958. - Т.35. - №2. - С. 479 - 492.
11. Сангвал К. Травление кристаллов. Теория эксперимента и применение. - М.: Мир, 1990. С. 59-60.
12. Милдвидский М.Г., Чалдышев В.В. // ФТП, 1998. Т.32. - №5. - С. 513-521.
13. Брудный В.Н. // VII Российская конференция <<Арсенид галлия>> <<GaAs-99>>. - Томск, 21-23 октября 1999 - С. 9-12.
14. Дубовик В.И., Богданова В.С. Давлеткильдиев Н.А., Семиколонова Н.А. // ФТП, 1998. - Т.32. №1. - С. 38-39.
15. Дубовик В.И., Богданова В.С. Давлеткильдиев Н.А., Семиколонова Н.А. // 2-ая Международная конференция "Радиационно-термические эффекты и процессы в неорганических материалах". - Томск, 14-19 августа 2000. С. 291-293.

PROCESSES OF TRANSFORMATION IMPURITY SUBSYSTEM IN IRRADIATED SINGLE CRYSTALS GaAs:Te

Viktor Dubovik¹⁾, Alex Nevzgodoff²⁾

¹⁾Omsk state university, chair of solid state physics, 644077, c. Omsk, pr. Mira, 55 - A, Dubovik@phy.omsu.omskreg.ru

The actuality of investigation radiation defect formation in semiconductor crystals is caused by support of stability of microelectronics elements in radiation fields and availability of radiation technology methods for the creation of materials with novel properties.

The influence of γ -irradiation on the specific conductance (σ), Hall mobility (R_H) and free carrier concentration in GaAs:Te single crystals is investigated in this paper. Single crystals of GaAs:Te grown by the Czochralski method with free-carrier densities $n_0 = (0,42 - 3,8) \cdot 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ were irradiated from a ^{60}Co γ ray source ($E_0 = 1.17 \text{ MeV}$ and 1.13 MeV , $T_{\text{irr}} = 300 \text{ K}$). The samples polished, and etched in $\text{H}_2\text{SO}_4:\text{H}_2\text{O}_2:\text{H}_2\text{O}$ (3:1:1) polishing etchant.

The measurement are executed by Van-der-Paw technique and Hall EMF method in temperature range 77-325 K. The investigations showed that in the absorbed doses (D) range up to 47 Mrad for all samples n remains constant, and the experimental value of R_H and calculated value of n change non-monotonously.

It is possible to explain the experimental results from the point of view of interaction impurity subsystem of a crystal with mobile Frenkel's defects formed in both Ga- and As-sublattice at γ -irradiation.

The conditions of course of various reactions are defined (determined) by parities (ratio) between sizes n_{Te} , I_{H} , D , where n_{Te} - general concentration of tellurium, including both donor and cluster states.

The mobile components of reactions influence on states of structural channels of conductivity (Ioffe's model), and define electrical, galvanomagnetic properties of monocrystals GaAs:Te. The value D at which the anomalous values n are observed, depend on a doping level. It is demonstrated by a position of maximum n at displacement in range of large value D with increase n_0 .