

05;06
©1995

РОЛЬ НЕСТЕХИОМЕТРИИ В ОПРЕДЕЛЕНИИ РЕКОМБИНАЦИОННОЙ АКТИВНОСТИ ДИСЛОКАЦИЙ В ПОЛУИЗОЛИРУЮЩИХ НЕЛЕГИРОВАННЫХ КРИСТАЛЛАХ GaAs

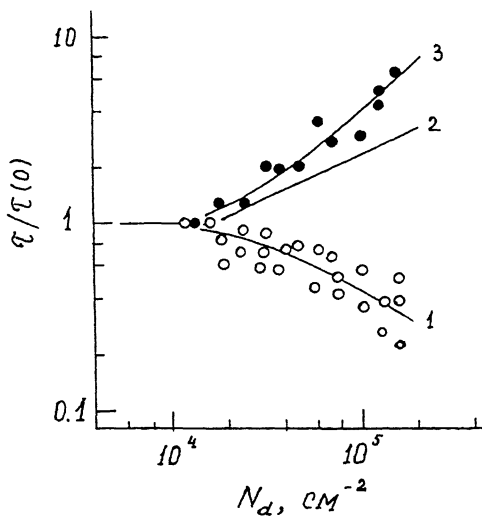
К.Д.Глинчук, А.В.Прохорович

1. В последние годы (см., например, [1,2], а также обзор [3]), значительное внимание уделяется изучению факторов, влияющих на рекомбинационную активность дислокаций в исходных и подвергнутых термическим воздействиям полуизолирующих нелегированных кристаллах арсенида галлия (ПИН GaAs).¹ Установлено, что такими факторами, в частности, являются: чистота исходных компонентов расплава ПИН GaAs, условия роста ПИН GaAs (например, скорость выращивания и охлаждения), и термического воздействия на них (например, температура прогрева, скорость нагрева и охлаждения) [2,3].

В настоящем сообщении мы впервые покажем, что одним из нетривиальных факторов, формирующих рекомбинационную активность дислокаций в кристаллах ПИН GaAs, является состав расплава арсенида галлия (стехиометрический, нестехиометрический) во время его роста.

2. Исследовались кристаллы ПИН GaAs различной стехиометрии с удельным сопротивлением $\rho = 4 \cdot 10^7 - 2 \times 10^8$ Ом·см при 300 К и $\rho \rightarrow \infty$ при 77 К (величина ρ определялась термической ионизацией частично скомпенсированных уровней E_{I2}) [3]. Они выращивались методом Чохральского из-под слоя флюса с избытком в расплаве мышьяка либо галлия, а также при близком их содержании в нем. Плотность дислокаций N_d в них варьировалась в

¹ В арсениде галлия дислокации играют косвенную роль в процессах рекомбинации избыточных носителей тока, способствуя понижению и (либо) возрастанию концентрации рекомбинационных центров (РЦ) вблизи них (они являются стоком и (либо) источником РЦ, см. далее). Поэтому под рекомбинационной эффективностью дислокаций мы понимаем эффективность изменений ими (уменьшения либо увеличения) концентрации РЦ (рекомбинационная эффективность дислокаций весьма низка, если они способствуют уменьшению концентрации РЦ, т.е. являются стоками для РЦ, и относительно велика, если они способствуют увеличению концентрации РЦ, т.е. являются источниками РЦ).



Зависимости времени жизни неосновных носителей тока τ от плотности дислокаций N_d в кристаллах ПИН GaAs, выращенных из расплава с избытком мышьяка (1); с составом, близким к стехиометрическому (2); с избытком галлия (3).

Кривые нормированы относительно величины τ в кристаллах с низкой плотностью дислокаций $\tau(0)$. Температура измерений 77 К.

пределах $2 \cdot 10^4$ до $3 \cdot 10^5 \text{ см}^{-2}$. Доминирующими центрами рекомбинации неосновных носителей тока в исследуемых кристаллах являлись собственные точечные дефекты (СТД) [2,3]. О рекомбинационной активности дислокаций мы судили по изменениям при 77 К времени жизни неосновных носителей тока τ при возрастании плотности дислокаций [$\tau = \tau(0) \simeq 10^{-10} \text{ с}$ в кристаллах ПИН GaAs с низкой ($N_d \leq 10^4 \text{ см}^{-2}$) плотностью дислокаций]. При этом зависимость $\tau/\tau(0) = f(N_d)$ определялась из соответствующих изменений определяемой величиной τ интенсивности собственной фотолюминесценции (последняя возбуждалась He-Ne лазером) [3].

3. Основные данные, иллюстрирующие роль нестехиометрии расплава при выращивании кристаллов ПИН GaAs в определении рекомбинационной активности дислокаций в нем, приведены на рисунке. В нем при сравнении изменений τ с ростом N_d в кристаллах ПИН GaAs, выращенных в условиях, близких к стехиометрическим, и с отклонением состава расплава от стехиометрического (с избытком мышьяка либо галлия), обращает на себя внимание следующее.

а) Обогащение расплава арсенида галлия мышьяком приводит к существенному усилению рекомбинационной ак-

тивности дислокаций — наблюдаемая в кристаллах ПИН GaAs с составом, близким к стехиометрическому, корреляционная зависимость τ от N_d переходит в кристаллах ПИН GaAs с избытком атомов мышьяка в антикорреляционную зависимость τ от N_d (рост τ повышении N_d в кристаллах ПИН GaAs с составом, близким к стехиометрическому, сменяется понижением τ при возрастании N_d в кристаллах ПИН GaAs с избытком атомов мышьяка).

б) Обогащение расплава арсенида галлия галлием приводит к ослаблению рекомбинационной активности дислокаций — в кристаллах ПИН GaAs с избытком атомов галлия наблюдается более сильная (по сравнению с соответствующей в кристаллах ПИН GaAs с составом, близким к стехиометрическому) корреляционная зависимость τ от N_d (возрастание величины τ при увеличении N_d в кристаллах ПИН GaAs с избытком атомов галлия происходит по более резкому закону).

Из приведенных данных несомненно следует, что:

а) обогащение расплава GaAs мышьяком приводит к преобразованию дислокаций из несовершенств, способствующих понижению концентрации РЦ, в дефекты, способствующие повышению концентрации РЦ, т.е. к их трансформации из эффективных стоков для РЦ в эффективные источники РЦ;

б) обогащение расплава GaAs галлием приводит к существенному повышению эффективности снижения дислокациями концентрации РЦ, т.е. значительному возрастанию эффективности дислокаций как стоков для РЦ.

Обсудим полученные данные. Как отмечалось выше, в исследуемых кристаллах ПИН GaAs доминирующими центрами рекомбинации неосновных носителей тока являлись СТД.² Поэтому, очевидно, “рекомбинационная” роль дислокаций сводится к повышению либо к понижению концентрации СТД при вариации стехиометрии расплава GaAs в сторону избытка мышьяка либо галлия.

Отмеченная роль нестехиометрии расплава арсенида галлия в определении рекомбинационной активности дислокаций в кристаллах ПИН GaAs связана с весьма сложны-

² В исследуемых кристаллах ПИН GaAs длина диффузии избыточных носителей тока $l_d[l_d = l_d(0) \simeq 1 \text{ мкм}$ в кристаллах ПИН GaAs с низкой плотностью дислокаций] намного меньше расстояния между дислокациями l ($l = 18-70 \text{ мкм}$). Из этого следует, что сами дислокации (как и ассоциированные вблизи них (на расстоянии $l^* \ll l$) различные точечные дефекты и примеси) не играют существенной роли в макропроцессах рекомбинации избыточных носителей тока, т.е. не определяют величину τ (кристаллы ПИН GaAs содержали более эффективные, чем дислокации, каналы рекомбинации неравновесных электронов и дырок):

ми процессами активного взаимодействия СТД между собой, с дислокациями и примесями во время роста и охлаждения GaAs (это приводит к формированию вокруг дислокаций протяженных областей с измененным составом и иными физическими свойствами), подробно рассмотрены в работах [1-11]. Так, в обогащенной атомами галлия кристаллах ПИН GaAs, как и в кристаллах ПИН GaAs с составом, близким к стехиометрическому, доминируют диффузионно-ограниченные процессы СТД на дислокации, приводящие к понижению их концентрации в матрице кристалла, и вследствие этого к повышению величины τ с ростом N_d . Очевидно, более высокая эффективность процесса стока СТД на дислокации в обогащенных атомами галлия кристаллах ПИН GaAs обусловлена преобразованием СТД вблизи дислокаций, следствием которого является возрастание скорости их диффузии. В то же время в обогащенных атомами мышьяка кристаллах ПИН GaAs доминируют процессы генерации СТД либо их преобразования из одного типа в иной вследствие взаимодействия СТД с дислокациями, примесями, либо между собой, приводящие к возрастанию концентрации РЦ и, следовательно, к понижению величины τ с ростом N_d .

4. Таким образом, в настоящей работе показано, что одним из нетривиальных факторов, существенно влияющих на рекомбинационную активность дислокаций в кристаллах ПИН GaAs, является отклонение от стехиометрии состава расплава арсенида галлия (обогащение расплава GaAs мышьяком усиливает рекомбинационную активность дислокаций, преобразуя их из стоков РЦ в источники РЦ, а галлием — понижает ее, повышая их эффективность как стоков РЦ). Отмеченные закономерности связаны со сложными процессами взаимодействия дислокаций и ансамбля СТД, которые усиленно изучаются в настоящее время (см. например [1-3,6-11]).

Список литературы

- [1] Брук А.С., Воронков В.В., Говорков А.В. // Изв. АН СССР. Сер. физ. 1988. Т. 52. В. 7. С. 1368-1372.
- [2] Tüsemen S., Brozel M.R. // Mater. Sci. and Engineer. 1992. V. B 14. N 1. P. 47-52.
- [3] Глинчук К.Д., Гурошев В.И., Прохорович А.В. Оптоэлектроника и полупроводниковая техника. Киев.: Наукова думка, 1992. В. 24. С. 66-96.
- [4] Говорков А.В., Колесник Л.И. // ФТП. 1978. Т. 12. В. 3. С. 448-452.
- [5] Брук А.С., Говорков А.В., Колесник Л.И. // ФТП. 1982. Т. 16. В. 8. С. 1510-1512.
- [6] Мильвидский М.Г., Освенский В.Б. Структурные дефекты в монокристаллах полупроводников. М.: Металлургия, 1984. 256 с.
- [7] Марков А.В., Морозов А.Н. // ФТП. 1986. Т. 20. В. 1. С. 154-157.

- [8] Марков А.В., Мильвидский М.Г., Освенский В.Б. // ФТП. 1986. Т. 20. В. 4. С. 634-640.
- [9] Воронков В.В., Большева Ю.Н., Глориозова Р.И., Колесник Л.И., Столяров О.Г. // Кристаллография. 1987. Т. 32. В. 1. С. 208-212.
- [10] Марков А.В., Мильвидский М.Г., Шершаков А.Н. Кристаллография. 1989. Т. 34. В. 5. С. 1319-1320.
- [11] Марков А.В., Мильвидский М.Г., Освенский В.Б. В кн.: Рост кристаллов / Под ред. Е.И. Гиваргизова, С.А. Гринберга. М.: Наука, 1990. Т. 18. С. 214-233.

Институт физики полупроводников
Киев, Украина

Поступило в Редакцию
20 июля 1994 г.
