

- [4] Климов А.А., Преображенский В.Л., Фетисов Ю.К. // Письма в ЖТФ. 1990. Т. 16. В. 17. С. 18-22.
- [5] Галкин О.Л., Климов А.А., Преображенский В.Л., Фетисов Ю.К., Костюк П.С. // Письма в ЖТФ. 1989. Т. 15. В. 22. С. 79-82.
- [6] Вашковский А.В., Зубков В.И., Локк Э.Г., Щеглов В.И. // Письма в ЖТФ. 1989. Т. 15. В. 4. С. 5-8.
- [7] Галкин О.Л., Климов А.А. Тез. докл. П Всес. школы „Взаимодействие электромагнитных волн с полупроводниковыми и полупроводниково-диэлектрическими структурами“. Саратов, 1988. С. 17-18.

Поступило в Редакцию
13 декабря 1990 г.

Письма в ЖТФ, том 17, вып. 7

12 апреля 1991 г.

06.3; 12

© 1991

ЭФФЕКТ ДИФфуЗИОННОЙ РЕЛАКСАЦИИ ПРИ ЖИДКОСТНОЙ ЭПИТАКСИИ $Ga_{1-x}Al_xAs$

В.Н. Бессолов, М.В. Лебедев

1. При эпитаксиальном росте твердых растворов состав растущего слоя должен зависеть как от состава жидкой или газовой фазы и температуры эпитаксии, так и от скорости роста этого слоя. В условиях очень малых скоростей роста должен наблюдаться эффект диффузионной релаксации [1].

Рассмотрим этот эффект на примере жидкостной эпитаксии $Ga_{1-x}Al_xAs$. Как известно [1, 2], концентрация $AlAs$, захваченного ступенью при росте слоя (X_{st}), существенно ниже, чем равновесная концентрация $AlAs$ для объема (X_B) при данном составе жидкой фазы. При эпитаксиальном росте слоя происходит превращение поверхностного слоя, отложенного ступенью, в объемный после прохождения по нему следующей ступени. При этом содержание $AlAs$ в слое (X) может увеличиваться по сравнению с захваченным ступенью за счет диффузии Al из жидкой фазы через поверхностный слой в твердую фазу в зависимости от скорости роста слоя.

Если скорость роста слоя существенно больше скорости диффузии Al в твердой фазе, то содержание $AlAs$ в слое (X) будет равно содержанию $AlAs$, захваченного ступенью (X_{st}) (рис. 1, а).

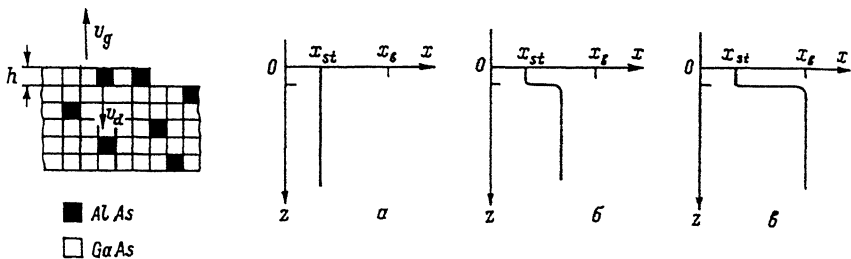


Рис. 1. Схематическое изображение ступени на поверхности растущего слоя и распределения $AlAs$ (X) по толщине этого слоя (z) для различных соотношений между скоростью роста v_g и скоростью диффузии Al в твердой фазе v_d : а - $v_g \gg v_d$, б - $v_g \sim v_d$, в - $v_g \ll v_d$.

При уменьшении скорости роста начнется диффузия Al в эпитаксиальный слой и содержание $AlAs$ в слое (X) будет большим, чем X_{st} (рис. 1, б).

Если же рост слоя идет настолько медленно, что его скорость меньше чем скорость диффузии атомов Al в твердой фазе, то содержание $AlAs$ в слое (X) будет практически соответствовать X_B (рис. 1, в).

При обычных условиях эпитаксии полупроводников A^3B^5 скорости роста слоев существенно превышают скорости диффузии атомов A^3 и B^5 в твердой фазе, поэтому эффекта диффузионной релаксации не наблюдается.

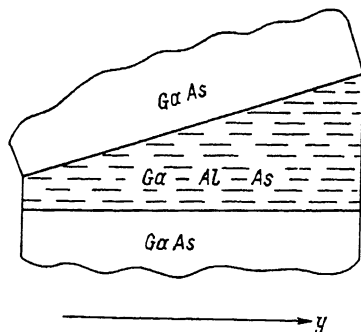
Целью данной работы является экспериментальное обнаружение эффекта диффузионной релаксации при эпитаксиальном росте слоев A^3B^5 (на примере жидкостной эпитаксии $GaAlAs$).

2. Для обнаружения эффекта диффузионной релаксации необходимо, чтобы скорость диффузии Al в твердой фазе $Ga_{1-x}Al_xAs$ была сравнима со скоростью роста эпитаксиального слоя. Это можно достичь, например, при капиллярной жидкостной эпитаксии [3], в которой выращивание слоев осуществляется из тонкого (порядка нескольких десятков микрон) зазора между двумя подложками. Для капиллярной жидкостной эпитаксии характерны, с одной стороны, высокие температуры эпитаксии, которые позволяют достичь сравнительно высокой скорости диффузии Al в твердой фазе (за счет высокого коэффициента диффузии Al), а с другой - низкие скорости роста эпитаксиальных слоев [3].

3. Эксперимент осуществляется следующим образом.

Исходно брались две химически полированные пластинки $GaAs$, ориентированные по плоскости (100). Эти пластинки помещались в специальную графитовую кассету так, что образовывался капилляр переменной толщины в направлении координаты Y (рис. 2). Такой

Рис. 2. Взаимное расположение подложек $GaAs$ и раствора-расплава $Ga-Al-As$ при эпитаксии.



капилляр служил для создания изменяющейся в направлении Y скорости роста.

Выращивание слоев $Ga_{1-x}Al_xAs$ осуществлялось при температуре около $920^\circ C$ в условиях непрерывного охлаждения насыщенного раствора-расплава $Ga-Al-As$. Заполнение капилляра раствором-расплавом осуществлялось за счет сил поверхностного натяжения.

Раствор-расплав охлаждался со скоростью около 0.2 град/мин в течение 100 мин. Минимальная толщина капилляра составляла 50 мкм, а максимальная — 200 мкм.

После эпитаксии измерялись толщины слоя в толстой и тонкой частях образца с помощью профилографа-профилометра, а также содержание $AlAs$ в слое $Ga_{1-x}Al_xAs$ в различных точках образца в направлении координаты Y — с помощью фотолюминесценции при гелиевых температурах.

4. Экспериментальные результаты таковы.

Толщина эпитаксиального слоя $Ga_{1-x}Al_xAs$ в направлении y изменялась от 1500 до 5500 \AA , при этом скорость эпитаксиального роста слоя изменялась от 0.25 до 0.9 \AA/с .

Содержание $AlAs$ в слое твердого раствора уменьшается от $X=0.27$ до $X=0.20$ при увеличении скорости роста слоя от $v_g = 0.25 \text{ \AA/с}$ до $v_g = 0.6 \text{ \AA/с}$; при дальнейшем увеличении скорости роста состав слоя практически не менялся (рис. 3).

5. Для объяснения полученных результатов проведем оценку возможности проявления эффекта диффузионной релаксации Al при эпитаксии $GaAlAs$.

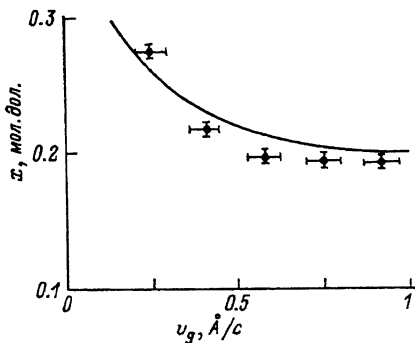
Оценка зависимости содержания $AlAs(X)$ в слое $Ga_{1-x}Al_xAs$ от скорости роста слоя осуществлялась по модели диффузионной релаксации, предложенной в [1]. Согласно модели

$$x = x_B + (x_{st} - x_B) \exp\left(-\frac{D}{v_g h}\right),$$

где D — коэффициент диффузии Al в твердой фазе, а h — высота ступени.

Величины X_B и X_{st} оценивались по методике, предложенной в [2], и оказались равными $X_B = 0.6$, $X_{st} = 0.19$. Высота ступени h принималась равной одному монослою, т.е. половине постоянной решетки $GaAlAs$ (2.83 \AA) [4], а коэффициент диффузии $D = 1.2 \times 10^{-17} \text{ см}^2/\text{с}$ [5].

Рис. 3. Зависимость состава $Ga_{1-x}Al_xAs$ (X) от скорости роста слоя: точки – эксперимент, линия – расчет по модели [1].



Оказалось, что расчетная зависимость содержания $AlAs$ в слое $Ga_{1-x}Al_xAs$ от скорости роста находится в хорошем согласии с экспериментом (рис.3).

Следует отметить, что полная диффузионная релаксация Al т.е. случай, когда содержание $AlAs$ в слое будет практически соответствовать X_B (рис. 1, в), должна наступить в этих условиях при скоростях роста около

$0.01 \text{ \AA}/\text{с}$, т.е. на порядок меньших, чем достигнутые экспериментально.

6. Таким образом, впервые в полупроводниках A^3B^5 на примере $GaAlAs$, экспериментально продемонстрирован эффект диффузионной релаксации при эпитаксиальном росте слоя. Этот эффект позволяет управлять составом растущего слоя при помощи скорости роста и может быть использован для селективной эпитаксии.

В заключение авторы благодарят Т.В. Россину и В.В. Россина за фотолюминесцентные измерения и Б.В. Царенкова за обсуждение путей развития жидкостной эпитаксии.

С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] Чернов А.А. В кн.: Современная кристаллография, Т. 3. М.: Наука, 1980. С. 134-157.
- [2] Nishinaga T., Mochizuki K., Yoshinaga H. et al. // J. Cryst. Growth. 1989. V. 98. N 1. P. 98-107.
- [3] Айтиева Г.Т., Бессолов В.Н., Денисова А.Т. и др. // ЖТФ. Т. 56. В. 5. С. 910-913.
- [4] Бехштедт Ф., Эндерлайн Р. Поверхности и границы раздела полупроводников. М.: Мир, 1990. С. 442-445.
- [5] Schlesinger T.E., Kuech T. // Appl. Phys. Lett. 1986. V. 49. N 9. P. 519-521.

Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе
АН СССР, Ленинград

Поступило в Редакцию
5 марта 1991 г.