

КИНЕТИКА ФОТОКРИСТАЛЛИЗАЦИИ И КОМБИНАЦИОННОЕ РАССЕЯНИЕ СВЕТА В АМОРФНОМ ОБЪЕМНОМ ПОЛУПРОВОДНИКЕ GaSb.

В.Н.Денисов, Б.Н.Маврин, В.Б.Подобедов
Г.Г.Скряцкая

Обнаружена фотокристаллизация объемного аморфного полупроводника α -GaSb по спектрам КР. Определены пороговые плотности и изучены зависимости фотокристаллизации от времени облучения и длительности возбуждающих импульсов.

Структура аморфных полупроводников метастабильна и при механических, тепловых или световых воздействиях эти материалы испытывают необратимый фазовый переход в кристаллическое состояние^{1, 2}, что может найти применение для записи информации³. Как правило, аморфные полупроводники получают в виде тонких пленок различными методами осаждения атомов на подложку. В настоящей работе впервые исследована кинетика кристаллизации при световом воздействии объемного аморфного полупроводника α -GaSb, полученного при закалке расплава кристалла GaSb под давлением⁴, по спектрам комбинационного рассеяния (КР).

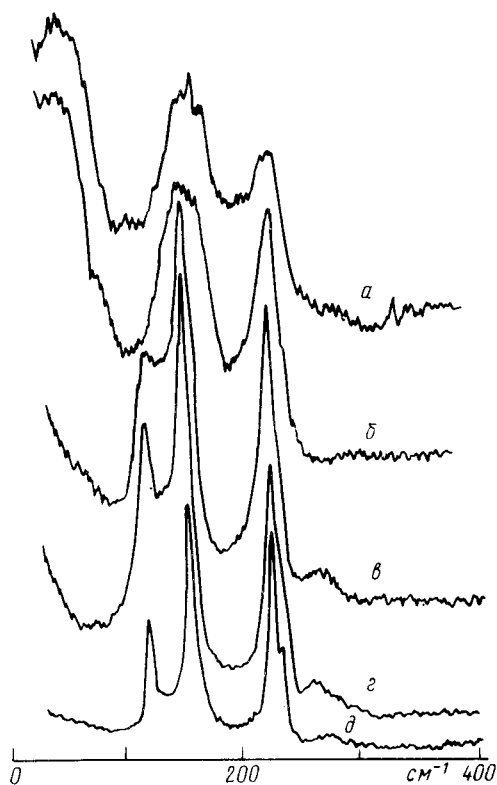


Рис. 1. Спектры КР α -GaSb при 150 К и при различных плотностях непрерывного возбуждающего света (в мкВт/мкм²): а – 2, б – 7,5, в – 15, г – 25; $\lambda_i = 5145 \text{ \AA}$. Спектр г получен при 2 мкВт/мкм² после облучения плотностью 25 мкВт/мкм² в течение 10 мин

Спектры КР возбуждались линиями Ar-Kr, лазера мощностью 8 – 130 мВт при фокусировке в пятно с $S \approx 4 \cdot 10^3 \text{ мкм}^2$ и регистрировались тройным многоканальным спектрометром⁵. При импульсном возбуждении длительность импульсов изменялась от 0,5 до 2 мсек (частота импульсов 50 – 200 Гц, скважность ~ 10) с помощью вращающихся секторных прерывателей света. Исследования проводились с p -поляризацией возбуждающего света в геометрии скользящего падения.

При плотности мощности возбуждающего света $I_0 < 10$ мкВт/мкм² в спектрах КР объемного *a*-GaSb, в отличие от спектра КР аморфной пленки GaSb⁶, мы наблюдали 3 полосы 52, 158 и 226 см⁻¹ (рис. 1а), частоты которых близки к максимумам плотности колебательных состояний кристалла *c*-GaSb⁷. Ранее^{4,5} не была обнаружена наиболее интенсивная полоса 52 см⁻¹, соответствующая *TA*-плотности колебательных состояний⁷. Эта полоса запрещена в спектрах КР *c*-GaSb по правилам отбора и ее интенсивность в спектре *a*-GaSb характеризует степень аморфности полупроводника. Как было показано ранее⁸, объемный *a*-GaSb содержит включения аморфной сурьмы, спектр которой⁹ налагается на спектр *a*-GaSb. Вклад *a*-Sb проявляется в несколько большей интенсивности полосы 158 см⁻¹, чем можно было ожидать для *a*-GaSb⁶. Это предположение подтвердилось при исследовании кристаллизации образца.

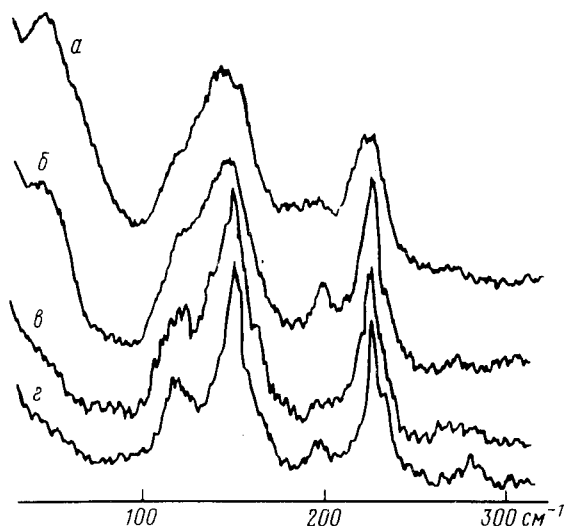


Рис. 2. Спектры КР *a*-GaSb при 300 К $I_0 = 7,5$ мкВт/мкм² после различных времен облучения: а - 10 мин, б - 1 ч, в - 2 ч и г - 4 ч; $\lambda_i = 5145$ А

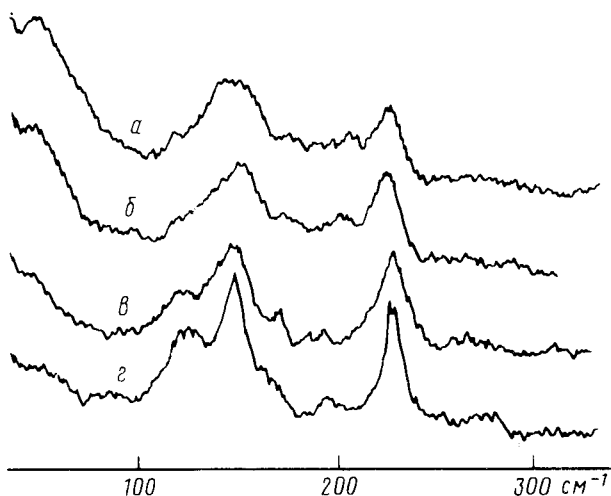


Рис. 3. Спектры КР *a*-GaSb при 300 К, $I_0 = 32$ мкВт/мкм² и при различных длительностях импульсов возбуждающего света (в мсек): а - 0,5, б - 1, в - 1,5 и г - 2; $\lambda_i = 5145$ А. Средняя мощность во всех случаях была близкой к 13 мВт

При увеличении $I_0 > 10$ мкВт/мкм² спектр КР радикально изменялся (рис. 1): быстро исчезала полоса 52 см⁻¹, вместо широкой полосы 158 см⁻¹ возникал дублет 116–153 см⁻¹, а вместо полосы 226 см⁻¹ — дублет 227–233 см⁻¹. Второй дублет совпадает с *TO*- и *LO*-частотами *c*-GaSb⁷. Частоты первого дублета близки к частотам кристаллической сурьмы¹⁰. Таким образом, по спектрам КР можно сделать вывод о кристаллизации образца (GaSb + Sb) при плотностях $I_0 > 10$ мкВт/мкм².

Исследованный образец кристаллизовался при нагревании выше 410 K ⁴. Согласно нашим измерениям, пороговые плотности I_0 фотокристаллизации не изменялись при понижении температуры от 300 до 150 К, а нагревание образца в печи до 380 К практически не изменяло вида спектра при $I_0 = 7,5 \text{ мкВт/мкм}^2$. По нашим оценкам температура образца при лазерном облучении увеличивалась линейно в пределах $(1 \pm 0,5)$ градуса на каждый мкВт/мкм^2 . Это находится в качественном согласии с измерениями лазерного нагрева других сильно поглощающих материалов¹¹ и свидетельствует о нагреве образца не более $50 - 60^\circ$ при максимальном I_0 .

Поскольку интенсивность возбуждающего света экспоненциально спадает вглубь образца $\alpha\text{-GaSb}$, можно предположить, что фотокристаллизация начинается с поверхности образца. В этом случае доля d материала, перешедшего в кристаллическое состояние за время t , может быть оценена соотношением¹²:

$$d = 1 - \exp(-Kt), \quad (1)$$

где K – константа, зависящая от параметров процесса кристаллизации (в том числе, и плотности I_0). Согласно (1), если зафиксировать I_0 , доля кристаллической фазы должна расти со временем, что и подтверждается экспериментально (рис. 2). Из временных зависимостей (рис. 2) следует, что движение межфазной границы происходит при относительно малых скоростях. В этом случае можно ожидать, что фотокристаллизация будет отсутствовать при достаточно малой длительности импульса t_0 при импульсном возбуждении, хотя при этом плотность I_0 такова, что при непрерывном возбуждении заведомо происходит кристаллизация ($I_0 > 10 \text{ мкВт/мкм}^2$).

Такой эксперимент был проведен при сравнительно большой плотности $I_0 = 32 \text{ мкВт/мкм}^2$, вызывающей полную кристаллизацию при непрерывном облучении за время существенно меньше времени регистрации спектра КР (~ 1 мин). При импульсном возбуждении с $t_0 < < 1$ мсек фотокристаллизация практически не наблюдалась в спектрах КР (рис. 3). Столь длительные времена фотокристаллизации (~ 1 мсек) не удивительны, поскольку процесс кристаллизации аморфного материала требует смещения атомов на заметные расстояния для образования упорядоченной структуры.

Литература

1. Wickersham C.E. et al. Sol. St. Comm., 1978, 27, 17.
2. Abdulhalim I. et al. Appl. Phys. Lett., 1987, 51, 1898.
3. Watanabe K. et al. J. Appl. Phys., 1983, 54, 1256.
4. Ларчев В.И. и др. КСФ, 1985, № 1, 7.
5. Гончаров А.Ф. и др. ЖЭТФ, 1988, 94, 321.
6. Krabach T.N. et al. Sol. St. Comm., 1983, 45, 895.
7. Farr M.K. et al. Phys. Rev. B, 1975, 11, 1587.
8. Popova S.V. et al. J. Non-Cryst. Sol. in press.
9. Lannin J.S. Phys. Rev. B, 1977, 15, 3863.
10. Lannin J.S. et al. Phys. Rev. B, 1975, 12, 585.
11. Huang C-R. et al. Jap. J. Appl. Phys., 1989, 28, 598.
12. Avrami M. J. Chem. Phys., 1939, 7, 1103.

Институт спектроскопии
Академии наук СССР

Поступила в редакцию
20 сентября 1989 г.