

УДК 621.315.55

ИССЛЕДОВАНИЕ КРИСТАЛЛИЗАЦИИ ОБЪЕМНЫХ ОБРАЗЦОВ АМОРФНОГО АНТИМОНИДА ГАЛЛИЯ МЕТОДОМ КОМБИНАЦИОННОГО РАССЕЯНИЯ СВЕТА

С.В. Демишев, Ю.В. Косичкин, А.Г. Ляпин, Н.Н. Мельник, Д.В. Нехаев,
Н.Е. Случанко, О.А. Турок

Для объемных образцов аморфного антимонида галлия исследовано изменение спектров комбинационного рассеяния света при кристаллизации. Найдено, что характер эволюции спектров определяется изменением поля напряжений в образце в процессе отжига.

В работах [1, 2] разработана методика синтеза новых некристаллических материалов – объемных аморфных полупроводников группы A^3B^5 , заключающаяся в закалке под давлением $P \sim 90-100$ кбар. Физические свойства аморфных полупроводников, полученных с помощью высокого давления (АПВД), являются предметом интенсивных исследований [2]. Настоящая работа посвящена изучению процесса кристаллизации АПВД $a - GaSb$ методом комбинационного рассеяния (КР) света.

Методика синтеза объемных образцов аморфного антимонида галлия подробно описана в [2]. Для исследования были выбраны наиболее совершенные образцы $a - GaSb$ с остаточным содержанием кристаллической фазы, не превышавшим нескольких процентов. Качество образцов контролировалось с помощью рентгеноструктурного анализа и резистивных измерений [2]. Регистрация спектров КР $I(V)$ осуществлялась с помощью спектрометра $U-1000$ фирмы "Jobin Yvon". Для возбуждения КР использовалось излучение аргонового лазера на длине волны $\lambda = 0,5145$ мкм. Мощность лазера не превышала $P = 12$ Вт/см², что позволяло исключить процессы фотокристаллизации $a - GaSb$ [3].

Исходный образец АПВД $a - GaSb$ подвергался серии последовательных изотермических отжигов в течение 30-60 мин (в зависимости от требуемой доли превращенной

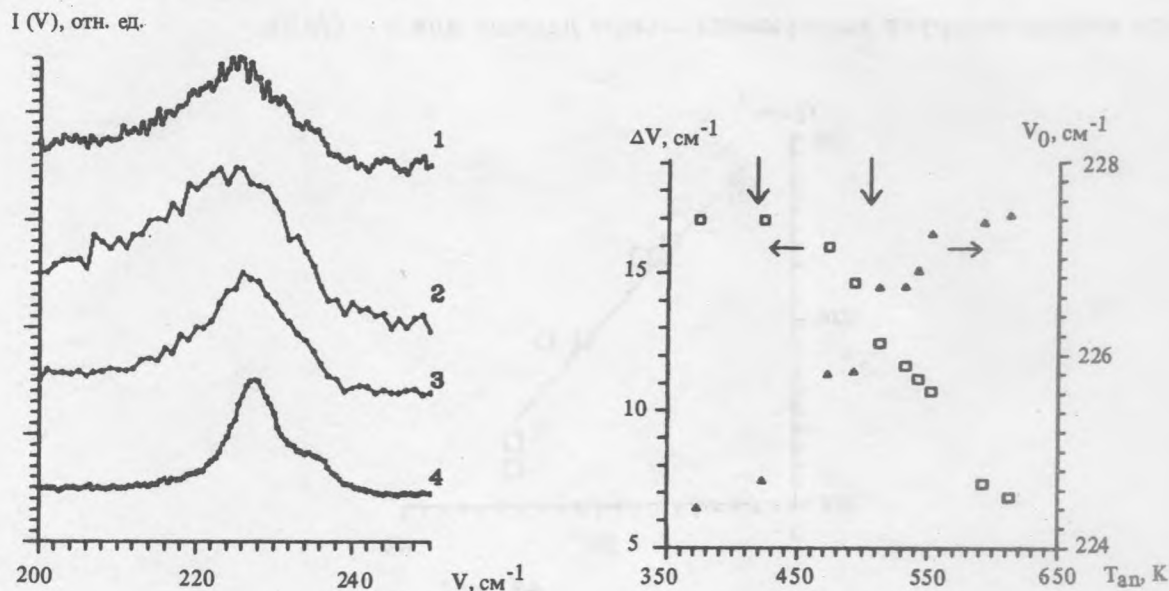


Рис. 1. Эволюция спектров КР $a - GaSb$ в процессе отжига: 1 - исходный образец, 2 - $T_{an} = 423 K$, 3 - $T_{an} = 513 K$, 4 - $T_{an} = 613 K$.

Рис. 2. Изменение положения и ширины ТО-подобного пика для $a - GaSb$ в процессе отжига.

фазы). После отжига при $T = T_{an}$ температура уменьшалась до комнатной и регистрировался спектр КР. Затем устанавливалось новое значение T_{an} и цикл измерений повторялся. Эволюция спектров КР в области оптических мод $a - GaSb$ $V = 210 - 240$ cm^{-1} показана на рис. 1. В спектре $I(V)$ исходного образца наблюдается ТО-подобная мода (кривая 1). С увеличением T_{an} амплитуда ТО-максимума увеличивается, причем одновременно происходит изменение его положения V_0 и ширины ΔV (кривые 2, 3). В диапазоне $T_{an} \sim 600$ К в спектрах КР возникает характерная для кристалла "двугорбая" структура, обусловленная вкладом ТО и LO-мод [4] (кривая 4).

В процессе отжига величина V_0 увеличивается, а ΔV - уменьшается (рис. 2). Такое поведение можно объяснить в рамках модели [5], где V_0 и ΔV связаны со средними напряжениями $\langle S \rangle$ в неупорядоченной сетке. Согласно [5] сдвиг V_0 пропорционален $\langle S \rangle^2$, а $\Delta V \sim \langle S \rangle$ и, следовательно,

$$V_0 = V_0^* - C(\Delta V)^2, \tag{1}$$

где V_0 – положение линии в напряженном материале, C – постоянная, определяемая ангармоническими членами в потенциальной энергии. Из рис. 3 видно, что формула (1) хорошо аппроксимирует экспериментальные данные для $a - GaSb$.

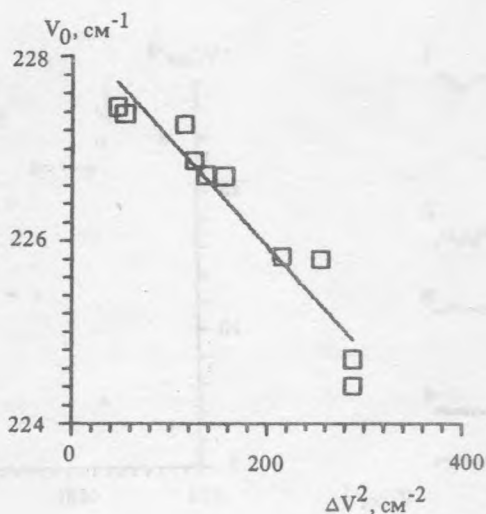


Рис. 3. Связь V_0 и ΔV в рамках модели [5].

Характерные температуры кристаллизации АПВД $a - GaSb$ были определены нами независимо, исходя из данных рентгеноструктурного и дифференциального термического анализа, а также с помощью резистивных измерений. Найдено, что кристаллизация $a - GaSb$ начинается при $T_{an} = T_{cr} \approx 420$ К и для использованной схемы пошагового отжига заканчивается при $T_{an} \approx 500$ К.

Обращает на себя внимание то, что сильные изменения V_0 и ΔV начинаются при $T_{an} = T_{cr}$ и продолжаются при $T_{an} \geq 500$ К (на рис. 2 характерные температуры, ограничивающие кристаллизационный диапазон, отмечены стрелками). Таким образом, "аморфный" вид спектра $I(V)$ сохраняется и после полной кристаллизации образца (рис. 1, кривая 3).

Рассмотрим возможную интерпретацию наблюдаемых эффектов. Согласно существующим представлениям [6], спектр КР, характерный для аморфных материалов, возникает при достаточно малой корреляционной длине l для колебательных состояний. Очевидно, что для аморфного образца (рис. 1, кривая 1) величина l задается корреляционным радиусом L_c аморфной сетки $GaSb$: $l \sim L_c \sim 20 \text{ \AA}$ [2], однако для частично или даже полностью кристаллизованного образца (рис. 1, кривые 2, 3) параметр l остается малым и не соответствует размеру кристаллита $L_0 \gtrsim 200 \text{ \AA}$ (оценка L_0 была выполнена

по ширине в спектрах рентгеновского рассеяния).

Для объяснения такого поведения необходимо принять во внимание, что величина l может определяться также полем S и в напряженном кристаллите может иметь место соотношение $l < L_0$. Именно такая ситуация реализуется, по-видимому, при кристаллизации АПВД $a - GaSb$. В области $T_{cr} < T_{an} < 500$ К возникает поликристаллическая структура с сильно напряженными блоками, и параметр l остается малым, что соответствует "аморфному" спектру КР. В диапазоне $T_{an} \geq 500$ К происходит рекристаллизация образца, при этом параметр L_0 увеличивается, а напряжения S уменьшаются. В результате корреляционная длина l увеличивается и в спектрах КР возникает структура, характерная для кристалла (рис. 1, кривая 4). Дополнительным аргументом в пользу предложенной модели эволюции спектров КР АПВД $a - GaSb$ при отжиге может служить соотношение (1), которое выполняется практически во всем исследованном диапазоне температур отжига.

Л И Т Е Р А Т У Р А

- [1] Л а р ч е в В.И. и др. Краткие сообщения по физике ФИАН, N 1, 7 (1985).
- [2] Д е м и ш е в С.В. и др. ЖЭТФ, **100**, 723 (1991).
- [3] Д е н и с о в В.Н. и др. Письма в ЖЭТФ, **50**, 363 (1989).
- [4] F a r r M.K. et al., Phys. Rev. B **11**, 1587 (1975).
- [5] T s u R., J. Non-Cryst. Solids, **97-98**, 163 (1987).
- [6] S h u k e r R., G a m m o n R. Phys. Rev. Lett., **25**, 222 (1970)..

Институт общей физики РАН

Поступила в редакцию 16 декабря 1992 г.