

## ПЕРСПЕКТИВНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И СТРУКТУРЫ

УДК 621.315.592

### ВЫРАЩИВАНИЕ И СВОЙСТВА МОНОКРИСТАЛЛОВ $MnIn_5S_{8.5}$

И.В. БОДНАРЬ, Р.Л. БУНЦЕВИЧ, С.А. ПАВЛЮКОВЕЦ

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники  
ул. П. Бровки, 6, г. Минск, 220013, Республика Беларусь  
chemzav@bsuir.by*

Методом Бриджмена (вертикальный вариант) выращены монокристаллы  $MnIn_5S_{8.5}$  диаметром  $\sim 14$  и длиной  $\sim 40$  мм. Определен состав полученных монокристаллов, структура и параметр элементарной ячейки. В интервале 80–600 К проведены исследования теплового расширения и определены коэффициенты теплового расширения, а также рассчитаны температура Дебая и среднеквадратичные динамические смещения атомов.

*Ключевые слова:* метод Бриджмена, структура, коэффициент теплового расширения, температура Дебая, среднеквадратичные динамические смещения атомов.

В последнее время значительное внимание уделяется изучению магнитных полупроводников типа  $MB_2C_4^{VI}$  ( $M - Mn, Fe, Co, Ni; B^{III} - Al, Ga, In; C^{VI} - S, Se, Te$ ). Магнитные полупроводники этого класса являются новыми и практически малоизученными материалами. Указанные соединения являются перспективными материалами для создания на их основе лазеров, модуляторов света и других устройств, управляемых магнитным полем. В данной работе представлены данные по выращиванию монокристаллов  $MnIn_5S_{8.5}$ , определению состава, структуры и исследованию теплового расширения.

Кристаллы предварительно получали из элементарных компонентов полупроводниковой степени чистоты. Полученные слитки измельчали и перегружали в двойные кварцевые ампулы, из которых внутренняя ампула заканчивалась цилиндрическим капилляром, который обеспечивал формирование монокристаллической затравки. К наружной ампуле снизу приваривали кварцевый стержень, служивший держателем. После вакуумирования ампул до остаточного давления  $\sim 10^{-3}$  Па ее помещали в вертикальную однозонную печь с заданным температурным градиентом в которой проводили выращивание монокристаллов. Температуру печи повышали со скоростью 150 К/ч до  $\sim 1420$  К и для гомогенизации расплава, выдерживали при этой температуре 2 ч. После указанного времени выдержки, проводили направленную кристаллизацию расплава, понижая температуру печи со скоростью  $\sim 2$  К/ч до полного затвердевания расплава. Для гомогенизации полученных слитков их отжигали при 1020 К в течение 300 ч. Выращенные в таких условиях монокристаллы  $MnIn_5S_{8.5}$  имели диаметр  $\sim 14$  и длину  $\sim 40$  мм, были однородными и гомогенными.

Состав выращенных монокристаллов определяли с помощью микрозондового рентгеноспектрального анализа, структуру – рентгеновским методом.

Результаты микрозондовых рентгеноспектральных измерений показали, что содержание компонент в выращенных монокристаллах удовлетворительно согласуется с заданным составом в исходной шихте.

Дифрактограммы, снятые из разных участков монокристаллов, соответствовали кубической структуре шпинели. Параметры элементарной ячейки, рассчитанные методом наименьших квадратов равны:  $a = 10,753 \pm 0,005$  Å. Разрешение высокоугловых линий на дифрактограммах свидетельствует о равновесности выращенных монокристаллов  $MnIn_5S_{8.5}$ .

Тепловое расширение монокристаллов  $\text{MnIn}_5\text{S}_{8.5}$  измеряли на кварцевом dilatометре в интервале 80–600 К. Измерение температурной зависимости относительного удлинения ( $\Delta l/l_0$ ) проводили на образцах средними размерами  $3 \times 3 \times 12$  мм. На зависимостях  $\Delta l/l_0$  и  $\alpha_L$  никаких аномалий не наблюдается (рис. 1 и 2).

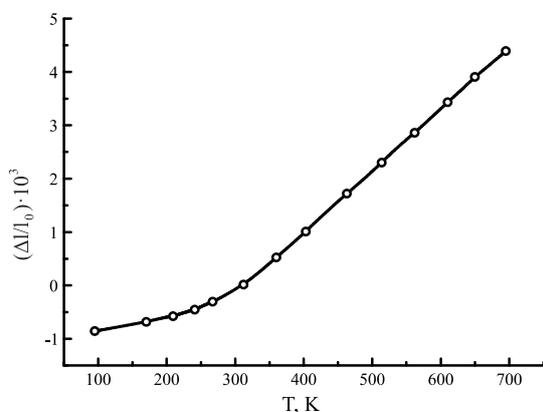


Рис. 1. Температурная зависимость относительного удлинения

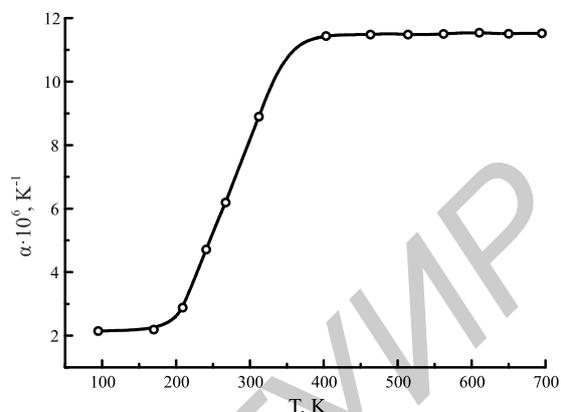


Рис. 2. Температурная зависимость коэффициента теплового расширения

Это свидетельствует о том, что в исследованном интервале температур для исследованных монокристаллов фазовые превращения отсутствуют. Анализ зависимости  $\alpha_L(T)$  показывает, что коэффициент теплового расширения очень слабо изменяется в интервале 80–200 К (от 2,2 до  $2,5 \cdot 10^6 \text{ K}^{-1}$ ), затем наблюдается резкий рост  $\alpha_L$  вплоть до 450 К (от 2,5 до  $11,5 \cdot 10^6 \text{ K}^{-1}$ ), после чего температура на величину  $\alpha_L$  влияния не оказывает. Такое поведение КТР связано с изменением степени ангармонизма тепловых колебаний атомов в монокристаллах  $\text{MnIn}_5\text{S}_{8.5}$ .

Полученные значения коэффициента теплового расширения были использованы для расчета характеристической температуры Дебая ( $\Theta_D$ ) и среднеквадратичных динамических смещений атомов  $\sqrt{\bar{u}^2}$  (табл. 1) по следующим формулам:

$$\Theta_D^\alpha = \frac{14,3}{\alpha_L^{1/2} \bar{A}^{1/2} V^{1/3}}, \quad (1)$$

$$\bar{u}^2 = 4,3 \cdot 10^{-14} \left[ \frac{D(\Theta/T) + 1}{\Theta/T + 4} \right] \frac{1}{\bar{A}\Theta}, \quad (2)$$

где  $\alpha_L$  – коэффициент теплового расширения,  $\bar{A}$  – средняя атомная масса,  $V$  – средний атомный объем,  $D(\Theta/T)$  – функция Дебая.

Табл. 1. Коэффициенты теплового расширения, температуры Дебая и среднеквадратичных динамических смещений атомов  $\text{MnIn}_5\text{S}_{8.5}$

№	$T, \text{ K}$	$\alpha_L \cdot 10^6, \text{ K}^{-1}$	$\Theta_D, \text{ K}$	$\sqrt{\bar{u}^2}, \text{ \AA}$	№	$T, \text{ K}$	$\alpha_L \cdot 10^6, \text{ K}^{-1}$	$\Theta_D, \text{ K}$	$\sqrt{\bar{u}^2}, \text{ \AA}$
1	80	2,14	343	0,084	5	300	8,15	176	0,259
2	170	2,19	339	0,106	6	403	11,44	149	0,356
3	209	2,88	296	0,132	7	514	11,48	149	0,402
4	255	5,53	213	0,198	8	600	11,54	148	0,436