

07

Монокристаллы твердых растворов $TlIn_{1-x}Co_xSe_2$ ($0 \leq x \leq 0.5$) – эффективный материал для полупроводниковой тензометрии

© С.Х. Умаров¹, И. Нуриддинов², Ж.Дж. Ашуров¹, Ф.К. Халлоков¹

¹ Бухарский медицинский институт им. Абу Али ибн Сино, Бухара, Узбекистан

² Институт ядерной физики Академии наук Республики Узбекистан, Ташкент, Узбекистан

E-mail: salim_umarov49@mail.ru

Поступило в Редакцию 15 февраля 2017 г.

Приведены результаты исследования тензорезистивных характеристик кристаллов твердых растворов $TlIn_{1-x}Co_xSe_2$ в интервале концентрации кобальта $0 \leq x \leq 0.5$. Исследуется также температурная зависимость тензочувствительности исследованных кристаллов в интервале $300 \leq T \leq 410$ К. Показана перспективность исследуемых кристаллов как эффективных материалов для полупроводниковой тензометрии.

DOI: 10.21883/PJTF.2017.16.44926.16746

До настоящего времени малоизученными остаются свойства кристаллов многокомпонентных полупроводниковых соединений типа $A^{III}B^{III}C_2^{VI}$ и твердых растворов на их основе. Твердые растворы являются в настоящее время одним из наиболее интересных полупроводниковых материалов. Изменение их состава позволяет широко варьировать электрофизические, оптические, тензометрические и другие свойства. Твердые растворы слоистых полупроводников изучены

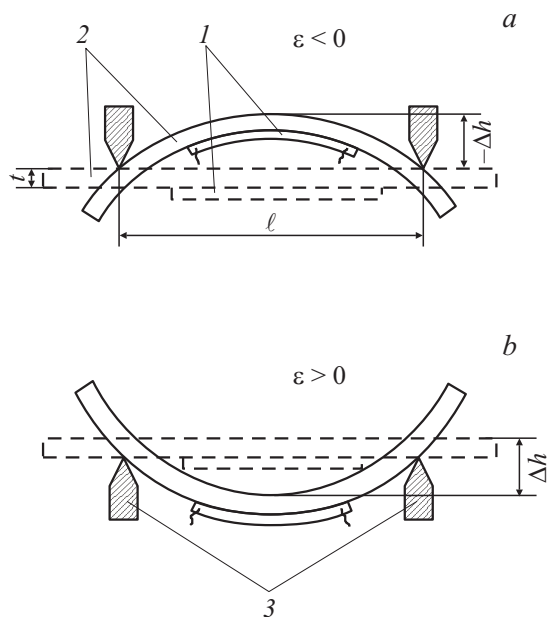
крайнее слабо, хотя они обладают очень интересными свойствами. Среди этих кристаллов наиболее подробно исследованы фотоэлектрические, электрофизические и оптические характеристики кристаллов TlInSe_2 [1–9]. Сообщается о перспективности кристаллов TlInSe_2 в качестве тензочувствительного материала [10]. Исследована возможность возникновения термовольтаического эффекта в образце SmS стехиометрического состава при наличии в нем деформации, созданной давлением сферического индентора. Эксперименты проведены в интервале температур 300–475 К [11,12].

Из вышеизложенного известно, что практически отсутствуют сведения об электрофизических и тензометрических свойствах кристаллов твердых растворов $\text{TlIn}_{1-x}\text{Co}_x\text{Se}_2$.

Сплавы заданного состава синтезировались сплавлением компонентов в вакуумированных до давления $1.2 \cdot 10^{-4}$ мм Hg кварцевых ампулах с диаметром 12–15 мм, высотой расплава 50–60 мм. В качестве исходных компонентов использовались особо чистые элементы: таллий-000, индий-000, кобальт-000, селен ОСЧ-17-4. Монокристаллы выращивались усовершенствованным методом Бриджмена–Стокбаргера с применением электронных терморегуляторов для поддержания оптимального теплового режима в процессе кристаллизации. Печь для выращивания монокристаллов состоит из двух изотермических зон: зоны кристаллизации и зоны охлаждения. В процессе выращивания температура в зонах контролировалась двумя термопарами хромель–алюмель. Ампула была толстостенная и опускалась со скоростью 0.9 мм/ч. Монокристаллы $\text{TlIn}_{1-x}\text{Co}_x\text{Se}_2$ имели проводимость p -типа.

Кристаллы $\text{TlIn}_{1-x}\text{Co}_x\text{Se}_2$, как и другие твердые растворы на основе соединения TlInSe_2 [13], имеют слоистую структуру, которая обеспечивает раскалывание кристаллов в нужном направлении на нитевидные образцы с зеркальными гранями и требуемой геометрической конфигурацией. Образцы обладают высокими упругими свойствами, а также прочными свойствами на разрыв. Монокристаллы $\text{TlIn}_{1-x}\text{Co}_x\text{Se}_2$ при размере $0.25 \times 1 \times 10$ мм выдерживают деформацию на изгиб с радиусом кривизны до 6–9 мм.

Образцы для исследования были изготовлены скалыванием монокристаллов в двух взаимно перпендикулярных плоскостях естественного скола и имели форму прямоугольного параллелепипеда. Размер исследованных образцов составлял $10 \times 10 \times 0.25$ мм. Омические кон-



Схематический вид устройства для измерения относительной деформации в статическом режиме: 1 — кристалл, 2 — стальная балка, 3 — боковые опоры.

такты получены точечной сваркой соответствующих проволочек конденсаторным разрядом на торцы нагретых в потоке инертного газа образцов.

Тензочувствительность образцов измерялась в температурном интервале 300–410 К в статическом режиме. Постоянная деформация передавалась измеряемому кристаллу при помощи сконструированного для этой цели специального устройства (см. рисунок). Измеряемый кристалл 1 в виде тончайших прямоугольных „волосков“ с зеркальными гранями естественного скола наклеивался на плоскую стальную пластинку 2 толщиной t , изгибаемую посредством перемещения ее средней части (на Δh) относительно плоскости острых концов двух боковых опор 3, расположенных на расстоянии ℓ . Величина относительной деформации (ε) вычислялась по формуле

$$\varepsilon = \frac{4t}{\ell^2} \Delta h.$$

Коэффициенты тензочувствительности присжатия кристаллов $\text{TlIn}_{1-x}\text{Co}_x\text{Se}_2$ в зависимости от состава и температуры

№	T, K	TlInSe_2	$\text{TlIn}_{0.99}\text{Co}_{0.01}\text{Se}_2$	$\text{TlIn}_{0.9}\text{Co}_{0.1}\text{Se}_2$	$\text{TlIn}_{0.5}\text{Co}_{0.5}\text{Se}_2$	Примечание
1	300	577	1741	2839	2951	При относительной деформации $\varepsilon = 0.57 \cdot 10^{-5}$
2	320	586	2442	2930	3715	
3	350	592	3170	4691	5011	
4	375	610	3930	5184	5928	
5	410	655	4242	6088	7466	

Коэффициент тензочувствительности (K) вычислялся по формуле

$$K = \frac{\Delta R_{\varepsilon,0}}{R_0 \varepsilon},$$

где R_0 — сопротивление образца при $\varepsilon = 0$, R_ε — сопротивление образца при заданной деформации ($\varepsilon \neq 0$) [13]. Коэффициент тензочувствительности и при положительных, и при отрицательных деформациях увеличивается с увеличением концентрации Co в твердых растворах $\text{TlIn}_{1-x}\text{Co}_x\text{Se}_2$.

Температурная зависимость сопротивления образцов и изменение коэффициента пьезочувствительности в зависимости от температуры являются важными показателями полупроводниковых тензометрических материалов [14]. Поэтому было исследовано влияние температуры твердых растворов на коэффициент тензочувствительности в температурном интервале $300 \leq T \leq 410 \text{ K}$. Эксперименты показывают, что с повышением температуры образцов их чувствительность к деформации в значительной мере увеличивается во всех исследованных нами составах твердого раствора $\text{TlIn}_{1-x}\text{Co}_x\text{Se}_2$, результаты исследования приведены в таблице.

Температурный коэффициент тензочувствительности исследованных кристаллов заметно варьировался от образца к образцу в зависимости от состава и концентрации Co в соединениях. Величина температурного коэффициента тензочувствительности существенным образом зависела от рассматриваемых областей температурного интервала. Эти результаты показывают, что в отличие от большинства полупроводниковых тензометрических материалов в кристаллах твердых растворов

$\text{TlIn}_{1-x}\text{Co}_x\text{Se}_2$ с повышением температуры можно увеличивать чувствительность тензорезисторов. Таким образом, тензорезисторы на основе $\text{TlIn}_{1-x}\text{Co}_x\text{Se}_2$ позволяют обеспечить высокую точность регистрации в термостатированных условиях эксплуатации.

Как уже отмечено, температурная зависимость сопротивления и изменение коэффициента тензочувствительности с температурой являются важнейшими показателями полупроводниковых тензометрических материалов. В случае приложения полупроводниковых тензодатчиков к деталям с переменной температурой возникает необходимость учета и изменения сопротивления и термического изменения коэффициента тензочувствительности датчиков. Изменение сопротивления датчика с температурой учитывается применением соответствующих методов компенсации, а изменение тензочувствительности — введением поправки.

Увеличение тензочувствительности при повышении температуры и под воздействием света в области fotocувствительности кристаллов $\text{TlIn}_{1-x}\text{Co}_x\text{Se}_2$ обусловлено увеличением концентрации носителей при термической и фотоионизации локальных уровней. Проведенное исследование показало, что кристаллы $\text{TlIn}_{1-x}\text{Co}_x\text{Se}_2$ благодаря относительно высокой тензочувствительности, значительной гибкости и способности скальваться на желаемые нитеобразные пластинки с зеркальными гранями в направлении максимального пьезорезистивного эффекта [001] являются эффективными материалами для полупроводниковой тензометрии.

Список литературы

- [1] Умаров С.Х., Нуритдинов И. // Перспективные материалы. 2002. № 3. С. 25–27.
- [2] Нуритдинов И., Умаров С.Х., Рустамов В.Д. // Перспективные материалы. 2003. № 1. С. 46–48.
- [3] Абдуллаев Г.Б., Абуталибов Г.И., Алиев А.А. и др. // Письма в ЖЭТФ. 1983. № 11. С. 525–526.
- [4] Аллахвердиев К.Р., Салаев Ф.М., Микаилов Ф.А., Мамедов Т.С. // Письма в ЖЭТФ. 1992. Т. 56. В. 3. С. 153–155.
- [5] Султанов Г.Д., Мирзабабаев Р.М., Ибрагимов С.Г. и др. // ФТТ. 1987. Т. 29. В. 7. С. 2138–2140.
- [6] Гусейнов Г.Д., Нуритдинов И., Умаров С.Х., Рустамов В.Д. // Гелиотехника. 2000. № 1. С. 83–88.

- [7] *Мустафаева С.Н., Керимова Э.М., Джаббарлы А.И.* // ФТТ. 2000. Т. 42. В. 12. С. 2132–2135.
- [8] *Сардарлы Р.М., Самедов О.А., Абдуллаев А.П.* и др. // ФТП. 2011. Т. 45. В. 11. С. 1441–1445.
- [9] *Шелег А.У., Гуртовой В.Г., Мустафаева С.Н., Керимова Э.М.* // ФТТ. 2011. Т. 53. В. 3. С. 443–445.
- [10] *Гусейнов Г.Д., Абдуллаев Г.Б.* // ДАН СССР. 1973. Т. 208. № 5. С. 1052–1054.
- [11] *Каминский В.В., Молодых А.А., Полухин И.С.* и др. // Письма в ЖТФ. 2014. Т. 40. В. 11. С. 1–7.
- [12] *Каминский В.В., Лани Ш.* // ЖТФ. 1998. Т. 68. В. 3. С. 53–57.
- [13] *Умаров С.Х.* К методике тензометрических измерений в статическом режиме. Ташкент, 1992. 9 с. Деп. в Уз. НИИНТИ, 16.04.1992. № 1209-Уз92.
- [14] *Ильинская Л.С., Подмарков А.Н.* Полупроводниковые тензодатчики. М., 1966. 118 с.