

ВЛИЯНИЕ ИНДИЯ НА ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ И СТРУКТУРНЫЕ
СВОЙСТВА $\text{Pb}_{1-x}\text{Sn}_x\text{Te}$

Г. А. Каложная, Т. С. Мамедов, Т. Ш. Рагимова,
Н. Н. Сентюрина

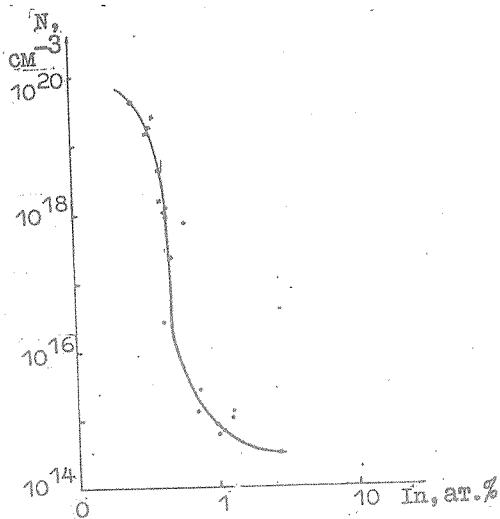
УДК 537.311.33

В эпитаксиальных слоях $\text{Pb}_{0,78}\text{Sn}_{0,22}\text{Te}$, полученных методом фотостимулированной эпитаксии, в зависимости от содержания примеси индия концентрация свободных носителей изменяется от $p_{77} \approx 10^{19} \text{ см}^{-3}$ до $n_{77} \approx 10^{14} \text{ см}^{-3}$, а плотность дислокаций слабо зависит от содержания индия вплоть до 0,5% ат.

В последнее время возник большой интерес к твердым растворам $\text{Pb}_{1-x}\text{Sn}_x\text{Te}$, легированным индием, в связи с необычными свойствами, обнаруженными в этом материале /1,2/. Примесь индия существенно влияет на электрические и фотоэлектрические свойства $\text{Pb}_{1-x}\text{Sn}_x\text{Te}$, причем зависимость этих свойств от концентрации введенного индия имеет сложный характер /3/.

В настоящей работе исследованы концентрация свободных носителей в $\text{Pb}_{0,78}\text{Sn}_{0,22}\text{Te}$, легированном индием, и распределение дислокаций в структурах на основе этого материала в зависимости от количества индия, введенного в кристалл. Исследования проводились на объемных монокристаллах и эпитаксиальных слоях. Монокристаллы, выращенные из газовой фазы, представляли собой слитки диаметром до 12-15 мм и длиной до 25 мм. Эпитаксиальные слои выращивались на подложках (100) PbTe и (111) BaF_2 методом фотостимулированной газовой эпитаксии /4/. Следует отметить, что в монокристаллы и слои индий вводился во время роста в условиях, максимально приближенных к равновесным. Под-

ложки p-PbTe были вырезаны из монокристаллов, полученных методом Бриджмена, и полированы химико-механически для снятия нарушенного слоя. Количество индия в материале определялось с помощью рентгеновского локального анализа на микроанализаторе Сомебах. Концентрация свободных носителей определялась из измерений эффекта Холла при 77 К в монокристаллах и слоях на подложках ВаГ₂. На рис. I приведена зависимость концентрации свободных носителей от количества введенного индия.



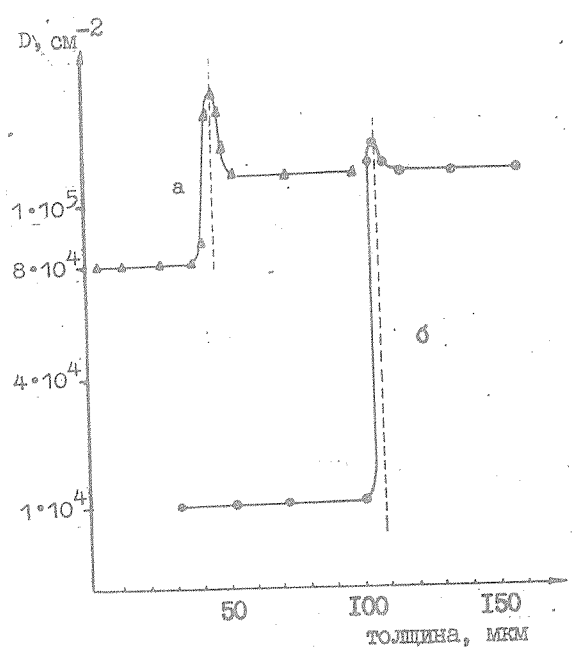
Р и с. I. Зависимость холловской концентрации от содержания In в эпитаксиальных слоях и монокристаллах $Pb_{0,78}Sn_{0,22}Te$ p-типа (*) и n-типа (•) при 77 К

Особое внимание в настоящей работе уделено исследованию свойств материала $Pb_{0,78}Sn_{0,22}Te$ с 0,4 ÷ 0,6 ат.% индия вблизи точки инверсии типа проводимости, поскольку этот материал пригоден для оптоэлектронных приборов /5/. Как следует из рис. I, индий, введенный в $Pb_{0,78}Sn_{0,22}Te$, в интервале концентраций от 0,2 до 2,7 ат.% ведет себя неоднозначно: при содержании индия до 0,4 ат.% концентрация свободных дырок уменьшается до $p_{77} \approx 10^{18} \text{ см}^{-3}$; при $\approx 0,4 \text{ ат.}\%$ In знак проводимости

изменяется от р к n, при введении большего количества индия концентрация свободных электронов уменьшается до $n_{77} \approx 10^{14} \text{ см}^{-3}$.

Можно сказать, что индий в $\text{Pb}_{1-x}\text{Sn}_x\text{Te}$ является амфотерной примесью: в малых количествах In проявляет донорные свойства, а в больших количествах - акцепторные.

Результаты определения концентрации свободных носителей в зависимости от количества введенного индия были учтены при изготовлении и практическом использовании гетероструктур на основе $\text{Pb}_{1-x}\text{Sn}_x\text{Te}(\text{In})$.



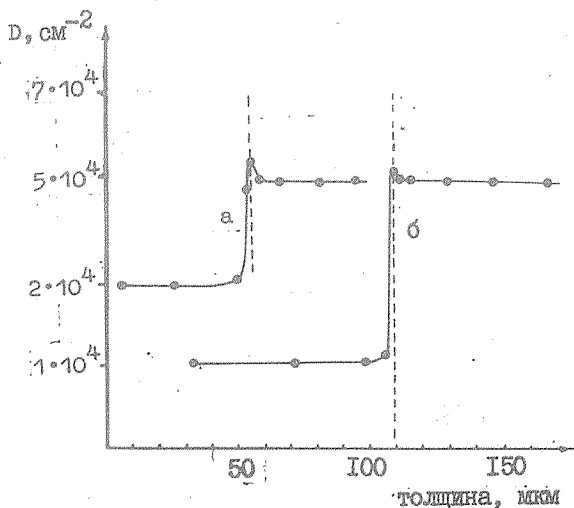
Р и с. 2. Распределение плотности дислокаций в гетероструктурах а - $n\text{-Pb}_{0,78}\text{Sn}_{0,22}\text{Te} + 1,2 \text{ ат.} \% \text{ In}$ (эпислой)/ $p\text{-PbTe}$ (подложка) б - $p\text{-Pb}_{0,78}\text{Sn}_{0,22}\text{Te} + 0,2 \text{ ат.} \% \text{ In}$ (эпислой)/ $p\text{-PbTe}$ (подложка)

Нами была исследована плотность дислокаций в эпитаксиальных структурах в зависимости от содержания индия в слоях и

материале подложки. Плотность дислокаций оценивали по плотности ямок травления (относительная ошибка 5%) как на поперечных сколах выращенных структур, так и послойно с применением метода последовательного стравливания слоев.

На рис. 2 и 3 представлены результаты измерения распределения плотности дислокаций D в зависимости от содержания In в структурах $Pb_{0,78}Sn_{0,22}Te(In)$ (эпитаксиальный слой) / $PbTe$ (подложка) и $Pb_{0,78}Sn_{0,22}Te(In)$ (эпитаксиальный слой) / $Pb_{0,79}Sn_{0,21}Te$ (подложка). Из полученных зависимостей следует:

I. Плотность дислокаций D в эпитаксиальных слоях зависит от количества введенного In. Так, плотность дислокаций увеличивается от $1 \cdot 10^4 \text{ см}^{-2}$ для 0,2 ат.% In до $8 \cdot 10^4 \text{ см}^{-2}$ для 1,2 ат.% In при одинаковой D в подложках.



Р и с. 3. Распределение плотности дислокаций в гетероструктурах а - $n\text{-Pb}_{0,78}\text{Sn}_{0,22}\text{Te} + 0,7 \text{ ат.}\% \text{ In}$ (эпислой) / $p\text{-Pb}_{0,79}\text{Sn}_{0,21}\text{Te}$ (подложка) б - $p\text{-Pb}_{0,78}\text{Sn}_{0,22}\text{Te} + 0,4 \text{ ат.}\% \text{ In}$ (эпислой) / $n\text{-Pb}_{0,79}\text{Sn}_{0,21}\text{Te}$ (подложка)

2. Эпитаксиальные слои имеют различную плотность дислокаций в зависимости от концентрации In, но для всех исследованных структур ρ в слое значительно меньше, чем в подложке, вследствие особенностей роста в условиях электромагнитного облучения.

3. Вследствие различия структурных характеристик пленки и подложки (см. табл. I) образуется так называемый переходной слой между подложкой и пленкой, который характеризуется повышенной плотностью D. Из данных табл. I следует, что скачок параметра решетки на гетерогранице в структуре $\text{Pb}_{0,8}\text{Sn}_{0,2}\text{Te}/\text{BaF}_2$ составляет 3,8%, а в структуре $\text{Pb}_{0,8}\text{Sn}_{0,2}\text{Te}/\text{PbTe}$ - 0,46%. Как показано на рис. 1, приведенном в работе /5/, в первой структуре плотность дислокаций возрастает от 10^4 см^{-2} на поверхности эпислоя до $(2 \div 3) \cdot 10^6 \text{ см}^{-2}$ на гетерогранице. Ширина переходного слоя с повышенной плотностью дислокаций составляет $15 \div 20 \text{ мкм}$ (точность определения $\pm 0,5 \text{ мкм}$). В структуре $\text{Pb}_{0,78}\text{Sn}_{0,22}\text{Te} + 1,2 \text{ ат.}\% \text{ In}/\text{PbTe}$ (рис. 2) плотность дислокаций возрастает от $8 \cdot 10^4 \text{ см}^{-2}$ в эпислое до $2 \cdot 10^5 \text{ см}^{-2}$ в переходном слое, а ширина самого переходного слоя уменьшается до 10 мкм . Самый благоприятный случай из исследованных представлен на рис. 3б - $\text{Pb}_{0,78}\text{Sn}_{0,22}\text{Te} + 0,4 \text{ ат.}\% \text{ In}/\text{Pb}_{0,79}\text{Sn}_{0,21}\text{Te}$, он характеризуется малым переходным слоем как по ширине ($\sim 3 \text{ мкм}$), так и по скачку плотности дислокаций; здесь отношение плотностей дислокаций на границе и в подложке чуть больше единицы.

Таблица I

Структурные характеристики материалов, составляющих гетеро-структуру /6/

Материал	Постоянная решетки a, Å	Коэффициент термического расширения $\alpha, \text{град}^{-1} \cdot 10^5$	Коэффициент теплопроводности, $\text{кал. град}^{-1} \cdot \text{см}^{-1} \cdot \text{с}^{-1}$
PbTe	6,46 (20 °C)	1,98 (613 °C)	0,012 (20 °C)
$\text{Pb}_{0,8}\text{Sn}_{0,2}\text{Te}$	6,43 (20 °C)	2 -	0,018 (20 °C)
BaF_2	6,19 (20 °C)	1,84 (0 ÷ 300 °C)	0,017 (311 K)

Таблица 2

Плотность дислокаций D в переходных слоях исследованных гетероструктур

Структура	Изменение параметра решетки на границе $\Delta a/a, \%$	Ширина переходн. слоя, мкм	D подложки, см^{-2}	D эпит. слоя, см^{-2}	D в переходном слое, см^{-2}	D перех. слоя/ D эпит. слоя
$\text{PbO}_{0,78}\text{Sn}_{0,22}\text{Te}/\text{BaF}_2$	3,8	15 + 20	-	10^4	10^6	100
$\text{PbO}_{0,78}\text{Sn}_{0,22}\text{Te}/\text{PbTe}$	0,46	8 + 10	$1 \cdot 10^5$	$1 + 8 \cdot 10^4$ (ж)	$2 \cdot 10^5$	20 + 3
$\text{PbO}_{0,78}\text{Sn}_{0,22}\text{Te}/\text{PbO}_{0,79}\text{Sn}_{0,21}\text{Te}$	0,01	3 + 4	$5 \cdot 10^4$	$1 + 2 \cdot 10^4$ (ж)	$6 \cdot 10^4$	6 + 3

*) Разница обусловлена различием концентраций введенного In .

Данные по переходным слоям структур, представленные на рис. 2 и 3, сведены в табл. 2. Как видно из табл. 2, возрастание плотностей дислокаций, наблюдаемое на гетерограницах, происходит вследствие несоответствия параметров решетки и ширины переходного слоя и зависит от скачка параметра решетки на гетерогранице.

Наличие переходного слоя приходится учитывать при реализации исследованных гетероструктур, например, при изготовлении лазеров, и применять технологические приемы для уменьшения переходного слоя на гетерогранице.

Поступила в редакцию
7 января 1981 г.

Л и т е р а т у р а

1. Б. М. Вул и др., Письма в ЖЭТФ, 29, вып. I, 21 (1979).
2. Н. Б. Брант и др., Письма в ЖЭТФ 29, вып. I, II (1979).
3. О. В. Александров и др., изв. АН СССР, сер. Физ., 14, 1277 (1978).
4. Г. А. Калижная и др., изв. АН СССР, сер. Физ., 15, № 2, 231 (1979).
5. G. A. Kaljuzhnaja et. al., Kristall und Technik, 14, 7, 849 (1979).
6. Е. М. Воронкова и др., Оптические материалы для инфракрасной техники, "Наука", М., 1965 г.