

## ВЛИЯНИЕ УСЛОВИЙ ВЫРАЩИВАНИЯ ЭПИТАКСИАЛЬНЫХ ПЛЕНОК $Pb_{0,95}Sn_{0,05}Se$ (И КАЧЕСТВА ПОДЛОЖКИ $BaF_2$ ) НА СВОЙСТВА БАРЬЕРОВ ШОТТКИ

К.В. Вяткин, С.Ю. Подтаев, Т.В. Пименова, И.К. Утробина,  
Н.М. Федорова, А.П. Шотов

*Исследована зависимость структурного совершенства эпитаксиальных слоев  $Pb_{0,95}Sn_{0,05}Se$  и характеристик барьеров Шоттки на их основе от условий выращивания слоев и качества подложек из фтористого бария.*

Создание тонкопленочных р-п переходов и барьеров Шоттки с малыми токами утечки требует высокого структурного совершенства эпитаксиальных полупроводниковых слоев. Дефекты кристаллической структуры усиливают рекомбинационные процессы и уменьшают время жизни неосновных носителей, что ведет к уменьшению сопротивления при нулевом смещении  $R_0$  и ухудшению выпрямляющих свойств р-п перехода. Слои полупроводниковых соединений  $A^4B^6$  высокого совершенства можно получить, используя метод молекулярной эпитаксии в квазизамкнутом объеме — метод "горячей стенки" /1, 2/, в котором условия роста максимально близки к равновесным. С целью получения высококачественных барьеров Шоттки  $Pb/Pb_{0,95}Sn_{0,05}Se$  в настоящей работе сделана попытка проследить зависимость характеристик эпитаксиальных слоев и самих переходов от условий выращивания слоев и совершенства подложки из фтористого бария.

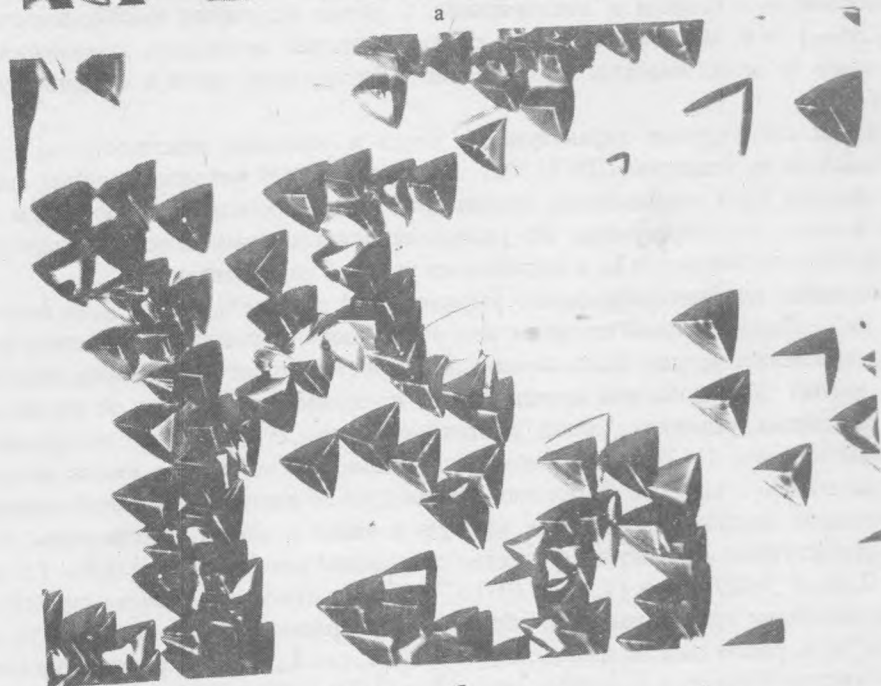
Для исследования структурных характеристик слоев и подложек использовался двухкристалльный спектрометр, собранный на установке ДРОН-УМ1. По кривым  $\theta/2\theta$  методом тройной свертки /3/ рассчитывались размер блоков  $L_1$  в направлении, перпендикулярном плоскости эпитаксии, и средний уровень микроискажений в этом же направлении. Из уширения кривых качания по методике /4/ определялись размер блоков в плоскости эпитаксии  $L_2$  и величина их угловой разориентации.

В качестве подложек для эпитаксиального выращивания слоев  $Pb_{0,95}Sn_{0,05}Se$  использовался монокристаллический  $BaF_2$ . Перед началом процесса эпитаксиального выращивания пластина фтористого бария толщиной 2 мм раскалывалась, одна часть помещалась в ростовую систему, вторая направлялась на рентгеноструктурный анализ. Как показали исследования, подложки, отколотые от разных кусков  $BaF_2$  и полученные при различных условиях, имели различные степени структурного совершенства. Дифрактометрические кривые качания  $(111)_\beta$ , полученные для некоторых подложек, имели несколько максимумов, что свидетельствовало о наличии в образцах фрагментов со взаимной разориентацией  $0,05^\circ - 0,25^\circ$ . Для более совершенных подложек, имеющих кривую качания с одним максимумом, были рассчитаны указанные выше структурные параметры, имеющие следующие значения:  $L_1 = 0,3 - 1,0$  мкм,  $L_2 = 1,0 - 10,0$  мкм,  $\beta = 0,001 - 0,007^\circ$ ,  $\epsilon = (1,5 - 4,0) \cdot 10^{-4}$ . Если считать, что блочная структура обусловлена, в первую очередь, наличием границ наклона, образованных краевыми дислокациями, то плотность таких дислокаций может быть рассчитана по формуле  $\rho = 1/L_2 L_3$ , где  $L_3 = b/\beta$  — расстояние между дислокациями в стенке,  $b$  — вектор Бюргерса, в данном случае  $b = (1/2)a \langle 100 \rangle = 0,44$  нм. Найденные таким образом значения плотности дислокаций для всех подложек находятся в пределах  $(0,5 - 5,0) \cdot 10^6$  см<sup>-2</sup> и хорошо согласуются со значениями, полученными из оценок плотности ямок травления на поверхности слоев. На рис. 1а показана картина выхода дислокаций при наличии заметной фрагментации, а на рис. 1б — то же картина для подложек с более совершенной структурой.

Структурные исследования эпитаксиальных пленок, выращенных на соответствующих подложках, показали, что подложки с фрагментированием не пригодны для получения совершенных пленок. Слои  $Pb_{0,95}Sn_{0,05}Se$  наследуют структуру подложки, имеют фрагменты с большей разориентацией, и барьеры Шоттки на их основе имеют большие токи утечки. Поэтому на второй стадии исследования использовались подложки только из предварительно отобранных кусков  $BaF_2$ , не имеющие ярко выраженных фраг-



а



б

Рис. 1. Картина выхода дислокаций на поверхности подложки (ямки травления) для фрагментированной (а) и совершенной структуры (б). Увеличение  $\times 230$ .

ментов. Для выяснения зависимости структурных параметров слоев от условий выращивания на подложках с отсутствием ярко выраженных фрагментов получали пленки при различных температурах подложки и источника материала. На рис. 2 показана зависимость плотности дислокаций от толщины эпитаксиальных пленок, выращенных при температуре  $340^\circ\text{C}$  и скорости роста  $3\text{ мкм/ч}$ . Плотность дислокаций рассчитывалась по результатам рентгеноструктурных измерений. Как видно из рисунка, пленки меньшей толщины обладают большей плотностью дислокаций, что объясняется влиянием переходной области подложка —

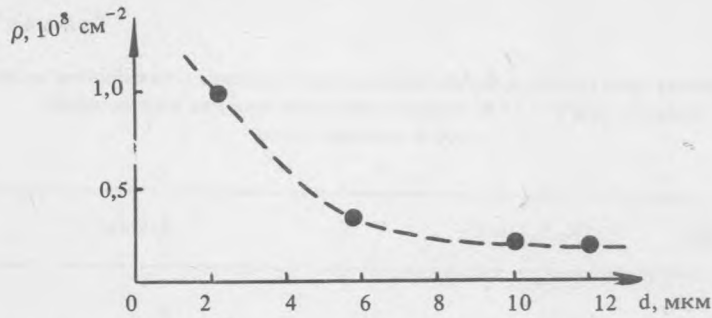


Рис. 2. Зависимость плотности дислокаций в эпитаксиальных пленках  $\text{Pb}_{0,95}\text{Sn}_{0,05}\text{Se}$  от их толщины. Температура выращивания  $340^\circ\text{C}$ .

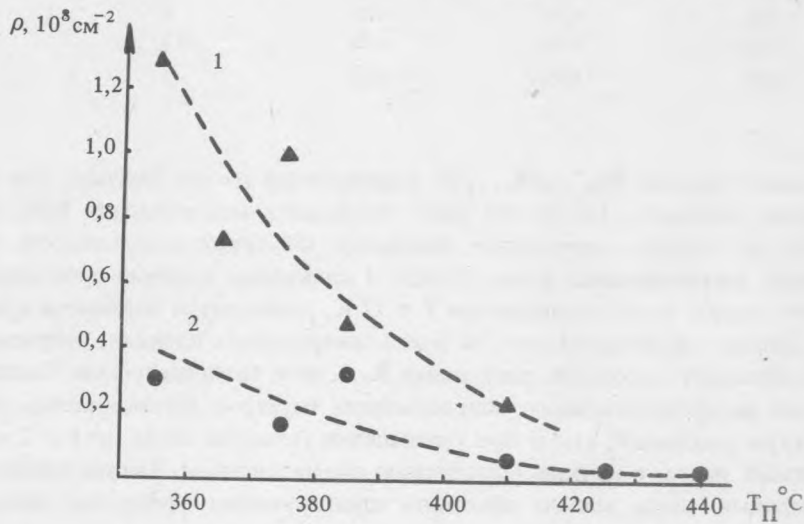


Рис. 3. Зависимость плотности дислокаций в эпитаксиальных пленках  $\text{Pb}_{0,95}\text{Sn}_{0,05}\text{Se}$  от температуры подложки при толщинах  $d = 5 \mu\text{m}$  (1) и  $10 \mu\text{m}$  (2).

пленка. Зависимость плотности дислокаций для эпитаксиальных пленок толщиной 5 и 10 мкм от температуры подложки при постоянной скорости роста показана на рис. 3. С ростом температуры подложки возрастает интенсивность поверхностной миграции осажденных атомов и молекул и условия становятся ближе к равновесным. Это приводит к увеличению размеров блоков, уменьшению углов разориентации между ними и, следовательно, к снижению плотности дислокаций. В наиболее совершенных пленках плотность дислокаций составляла  $\sim 10^6 \text{ см}^{-2}$ .

Проведенные электрофизические измерения показали слабую зависимость концентрации носителей заряда в пленках от температуры подложки. Выращенные пленки были р-типа проводимости с концентрацией дырок  $(2-4) \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$ , которая определялась составом исходного испаряемого материала и температурой дополнительного источника Se. Установлено, что температура подложки при выбранных скоростях конденсации практически не сказывается на подвижности носителей заряда в пленках, что свидетельствует о незначительном влиянии межблочных барьеров. Отметим, что использование подвижности в качестве критерия кристаллического совершенства монокристаллических пленок с размерами блоков  $\sim 1 \mu\text{m}$  (типичное значение для всех полученных образцов) является не совсем оправданным, так как при  $77 \text{ K}$  длина рассеяния носителей на акустических фононах  $\sim 0,1 \mu\text{m}$  при концентрациях  $10^{17} - 10^{18} \text{ см}^{-3}$  [5]. Некоторый разброс в значениях подвижности, полученных для пленок ( $\mu = 12000 - 22000 \text{ В}^2 \text{ см}^{-1} \text{ с}^{-1}$ ) может быть связан с наличием компенсирующих дефектов, характерных для полупроводников  $\text{A}^4\text{B}^6$ .

Таблица 1

Значения произведения дифференциального сопротивления диодов на их площадь при  $T = 77$  К, температура подложки при выращивании слоев и толщина слоев

N пленки	$R_0A$ , Ом·см	T, °C	d, мкм
512	0,02	345	5
492	0,03	355	5
514	0,17	425	6
515	0,27	425	6
508	1,30	425	6
543	0,52	425	12
545	0,02	425	1

На эпитаксиальных пленках  $Pb_{0,95}Sn_{0,05}Se$  формировали диоды Шоттки. Для этого на всю поверхность пленки (кроме площадки  $100 \times 100$  мкм) предварительно напыляли  $BaF_2$ . Полоска свинца термически напылялась на образец, перекрывая площадку. Обнаружена зависимость токов утечки диодов от условий получения эпитаксиальных слоев. В табл. 1 приведены значения произведения дифференциального сопротивления диодов на их площадь при  $T = 77$  К, температура подложки при выращивании слоев и толщина слоев. Диоды, сформированные на более совершенных пленках, полученных при температуре подложки  $425$  °C, обладают высокими значениями  $R_0A$ , если толщина пленок больше толщины переходного слоя. Значения дифференциального сопротивления барьеров Шоттки резко уменьшаются как при снижении температуры подложки, так и при уменьшении толщины слоев до  $1 - 2$  мкм, что определенно связано, как показано ранее, с их кристаллическим совершенством. Такую зависимость  $R_0A$  от совершенства эпитаксиальных слоев можно объяснить шунтирующим эффектом дислокационных каналов дополнительной утечки тока в менее совершенных слоях.

Высокие значения дифференциального сопротивления барьеров Шоттки позволяет использовать полученные структуры в качестве фотовольтаических приемников в режиме ограничения флуктуациями излучения фона.

Авторы благодарны Б.Н. Варскому и А.Б. Волынцеву за обсуждение результатов рентгеноструктурных измерений и А.Н. Щиневу за предоставление образцов  $BaF_2$ .

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Lopez-Otero R. A. Thin Solid Films, **49**, 3 (1978).
2. Вяткин К. В., Шотов А. П., Урсаки В. В. Изв. АН СССР, Неорган. матер., **17**, 24 (1981).
3. Каган А. С., Шишлянникова Л. М., Уникель А. П. Заводская лаборатория, **46**, 903 (1980).
4. Михайлов И. Ф., Аловердова О. Г., Фукс М. Я. Заводская лаборатория, **46**, 27 (1980).
5. Holloway H. Phys. of Thin Films, **11**, 130 (1980).

Поступила в редакцию 25 июня 1990 г.