

# Особенности МДП-структур на основе изолирующих пленок $\text{PbSnTe}:\text{In}$ с составом вблизи инверсии зон, обусловленные их сегнетоэлектрическими свойствами

© А.Э. Климов<sup>1,2</sup>, А.Н. Акимов<sup>1</sup>, И.О. Ахундов<sup>1</sup>, В.А. Голяшов<sup>1,3</sup>, Д.В. Горшков<sup>1</sup>,  
Д.В. Ищенко<sup>1</sup>, Е.В. Матюшенко<sup>1</sup>, И.Г. Неизвестный<sup>1,2</sup>, Г.Ю. Сидоров<sup>1</sup>,  
С.П. Супрун<sup>1</sup>, А.С. Тарасов<sup>1</sup>, О.Е. Терещенко<sup>1,3</sup>, В.С. Эпов<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Институт физики полупроводников им. А.В. Ржанова Сибирского отделения Российской академии наук, 630090 Новосибирск, Россия

<sup>2</sup> Новосибирский государственный технический университет, 630073 Новосибирск, Россия

<sup>3</sup> Новосибирский государственный университет, 630090 Новосибирск, Россия

E-mail: klimov@isp.nsc.ru

Поступила в Редакцию 15 апреля 2020 г.

В окончательной редакции 21 апреля 2020 г.

Принята к публикации 21 апреля 2020 г.

Исследованы характеристики МДП-структур на основе изолирующих пленок  $\text{PbSnTe}:\text{In}$  с составами вблизи инверсии зон, полученных методом молекулярно-лучевой эпитаксии. Показано, что ряд их особенностей могут быть вызваны сегнетоэлектрическим фазовым переходом с температурой Кюри в области примерно  $T \approx 15\text{--}20\text{ К}$ .

**Ключевые слова:** твердый раствор  $\text{PbSnTe}:\text{In}$ , эффект поля, МДП-структура, сегнетоэлектрический фазовый переход.

DOI: 10.21883/FTP.2020.10.49955.29

## 1. Введение

Ширина запрещенной зоны твердого раствора  $\text{Pb}_{1-x}\text{Sn}_x\text{Te}$  зависит от состава и температуры и лежит в интервале  $E_g \approx 0\text{--}0.4\text{ эВ}$ . В настоящее время особый интерес связан с составами вблизи  $x_{\text{inv}} \approx 0.35$ , где при гелиевых температурах происходит инверсия краев разрешенных зон, а  $E_g$  стремится к нулю. В области инверсии зон  $x > x_{\text{inv}}$   $\text{PbSnTe}$  находится в фазе топологического кристаллического изолятора (ТКИ) [1], а в области  $x \approx 0.22\text{--}0.3 < x_{\text{inv}}$  при добавлении в  $\text{PbSnTe}$  индия с концентрацией до нескольких ат% может быть реализовано „изолирующее“ состояние  $\text{PbSnTe}:\text{In}$  с крайне низкой проводимостью [2]. Имеются данные, что ТКИ-фаза может наблюдаться в пленках  $\text{PbSnTe}:\text{In}$  даже при  $x < 0.35$  [3], а „изолирующее“ состояние — в том числе и при  $x > 0.3$  [4]. Таким образом, имеется потенциальная возможность совместить эти две особенности  $\text{PbSnTe}$  в одной области  $x \approx 0.3\text{--}0.35$ . Это представляет особый интерес для задач спинтроники, так как в этом случае связанная с дираковскими состояниями поверхностная проводимость не будет „шунтироваться“ высокой проводимостью объема.

О возможности сегнетоэлектрического фазового перехода (СЭФП) в  $\text{PbSnTe}$  определенного состава в литературе упоминается достаточно давно. Так, в [5,6] фазовый переход в  $\text{SnTe}$  вблизи  $T = 75\text{--}77\text{ К}$  проявляется в виде выраженной особенности на температурных зависимостях коэффициента расширения. Сделано предположе-

ние, что при этом  $\text{SnTe}$  переходит из ромбоэдрической модификации в высокотемпературную кубическую. В работе [7] методом магнитоплазменного отражения исследован  $\text{Pb}_{1-x}\text{Sn}_x\text{Te}$  в области составов  $x = 0\text{--}0.4$  в диапазоне температур  $T = 4.2\text{--}100\text{ К}$ . Указывается, что постоянная Кюри оказалась практически одинаковой для всех исследованных составов, а для  $x = 0.4$  СЭФП наблюдается при температуре Кюри  $T_C = 20\text{ К}$ . В работе [8] приводятся данные по зависимости  $T_C$  от состава в диапазоне  $x = 0\text{--}1$ . Для образцов, полученных разными методами, такие зависимости несколько отличаются. Переход от нормального к виртуальному сегнетоэлектрику с отрицательной  $T_C$  наблюдается примерно при  $x < 0.2\text{--}0.3$ . В работе [9] с учетом межзонной гибридизации рассчитана концентрационная зависимость  $T_C$  для разных составов. Отмечается, что условия для структурного фазового перехода более благоприятны в инверсионной области составов с  $x > 0.35$ . В работе [10] отмечается возможность существования в  $\text{PbSnTe}$  нескольких фазовых переходов, а в [11] обобщен ряд экспериментальных данных по зависимости  $T_C$  от состава, полученных разными авторами на образцах, изготовленных разными методами. Согласно этой работе,  $T_C \approx -(65\text{--}50)\text{ К}$  для  $\text{PbTe}$ , а переход к положительной  $T_C$  происходит в области  $x \approx 0.2\text{--}0.3$ . Одновременно в эту же область составов попадает и несколько значений  $T_C > 0$ , вплоть до  $T_C \approx 30\text{ К}$ . В работе [12] исследованы пленки  $\text{Pb}_{0.75}\text{Sn}_{0.25}\text{Te}:\text{In}$  с концентрацией индия  $\sim 0.5\%$  и указывается на существование