

УДК 621.315.692

ОСОБЕННОСТИ РОСТА И ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ЭПИТАКСИАЛЬНЫХ ПЛЕНОК $Pb_{1-x}Sn_xSe:In$

Э. Ю. Салаев, И. Р. Нуриев, Х. Д. Джалилова, Н. В. Фараджев
Институт фотоэлектроники АН Азербайджана, Баку, Азербайджанская Республика

На подложках VaF_2 (111, 100), методом конденсации молекулярных пучков были выращены эпитаксиальные пленки $Pb_{1-x}Sn_xSe$ ($x = 0,03 - 0,07$) легированных In . Исследованы особенности их роста и электрофизические свойства. Сведения о структуре пленок были получены электроно-графическим, рентгенодифрактометрическим и электронно-микроскопическим методами. Эпитаксиальные пленки толщиной 1–1,5 мкм получались при температуре подложек $(400-450) \pm 0,5$ °С. Значения полуширины кривого качания рентгеновской дифракции изменялись в пределах $W_{1/2} = 100-200''$. Концентрация и подвижность носителей заряда соответственно составляли: $n = (2-5) \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$; $\mu = (2-3) \cdot 10^4 \text{ см}^2/\text{В} \cdot \text{с}$. Пленки имели зеркально-гладкую поверхность с плоскостями роста (111, 100) на различных подложках. Исследованы температурные зависимости постоянной Холла и подвижности носителей заряда эпитаксиальных пленок $Pb_{1-x}Sn_xSe$ легированных In (0,3–0,5 мас. %). Показано, что подвижность, определенная из измерений эффекта Холла и электропроводности в области примесной проводимости, изменяется по степенному закону $\mu \sim T^{-\nu}$, где $\nu = 1,6-2,5$.

Твердые растворы $Pb_{1-x}Sn_xSe$ являются перспективным материалом для оптоэлектроники.

Эпитаксиальные пленки этих материалов используются в оптоэлектронике и нашли широкое применение в спектральном диапазоне 8–12 мкм в качестве фотодиодов с барьером Шоттки [1]. Однако о фотопроводимости монокристаллов или эпитаксиальных пленок твердых растворов $Pb_{1-x}Sn_xSe$ до настоящего времени не сообщалось, что, по-видимому, связано с отсутствием материалов с

пониженной концентрацией ($\leq 10^{16}$ см⁻³). В ряде работ [2, 3] исследовались монокристаллы и эпитаксиальные пленки $Pb_{1-x}Sn_xSe$, в которых имеются данные по их электрофизическим и фотоэлектрическим свойствам. Однако характер механизмов рассеяния носителей тока в этих материалах окончательно не выяснен. В настоящей работе исследованы особенности роста и электрофизические свойства эпитаксиальных пленок $Pb_{1-x}Sn_xSe$ ($x = 0,03-0,07$) легированных In с различными степенями компенсации. В качестве подложек использовались свежесколотые грани и полированные пластины BaF_2 (111, 100).

Пленки выращивались методом конденсации молекулярных пучков из заранее синтезированных твердых растворов $Pb_{1-x}Sn_xSe$ легированных In.

Сведения о структуре пленок были получены электроно-графическим, рентгенодифрактометрическим и электронно-микроскопическим методами.

Структурно-совершенные пленки толщиной 1—1,5 мкм получались при температуре подложек $(400-450) \pm 0,5$ °С. Значения полуширины кривого качания рентгеновской дифракции сильно зависели от структурного совершенства поверхности подложек и изменялись в пределах $W_{1/2} = 100-200''$. Концентрация и подвижность носителей заряда, соответственно, составляли: $n = (2-5) \cdot 10^{16}$ см⁻³; $\mu = (2-3) \cdot 10^4$ см²/В·с. Пленки имели зеркально-гладкую поверхность с плоскостями роста (111, 100) на различных подложках.

Исследованы температурные зависимости постоянной Холла эпитаксиальных пленок $Pb_{1-x}Sn_xSe$ легированных In (0,3—0,5 мас. %) с различными концентрациями носителей тока (рис. 1).

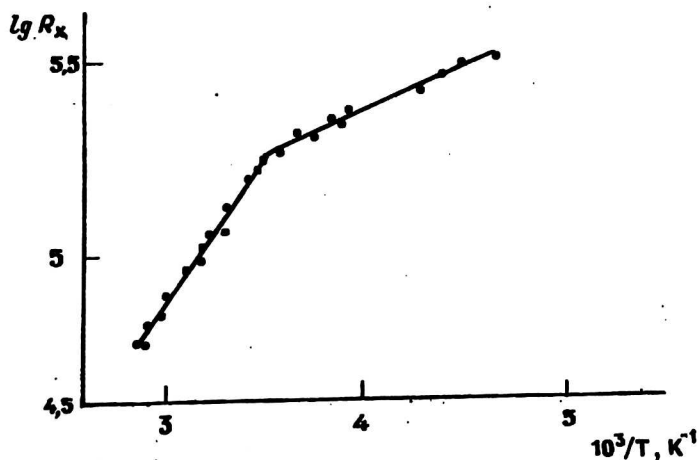


Рис. 1. Температурная зависимость постоянной Холла для $n - Pb_{0,93}Sn_{0,07}Se$

В области примесной проводимости R_x слабо зависит от температуры (5—7 %) в интервале от самых низких температур до 200—250 К. Такая зависимость, наблюдаемая до температур, при которых появляются в заметном количестве основные носители, указывает на отсутствие зависимости концентрации носителей тока от T . Концентрация носителей тока в этой области температур определяется концентрацией ионизационных примесей и собственных дефектов. С повышением температуры при > 250 К наблюдается уменьшение R_x , что связано с увеличением концентрации носителей тока и переходом к смешанной, а затем и к собственной проводимости.

У зависимости $\lg R_x (1/T)$ имеются различные наклоны 77—130 К — область примесной проводимости, 150—250 К — область смешанной проводимости.

Используя приближения $R \sim \exp(\Delta E/2kT)$, оценивалась глубина залегания примесных состояний. Произведенная оценка показывает, что примесные донорные уровни находятся на глубине $\sim 0,02 \pm 0,03$ эВ ниже дна зоны проводимости. На рис. 2 представлены температурные зависимости $\mu = R_x \sigma$ для исследованной группы легированных и нелегированных эпитаксиальных пленок $Pb_{1-x}Sn_xSe$ ($x = 0,07$). Анализ экспериментальных кривых $\mu_x(T)$ показывает, что подвижность в $Pb_{1-x}Sn_xSe$, определенная из измерений эффекта Холла и электропроводности в области примесей проводимости, изменяется по степенному закону $\mu \sim T^{-\nu}$, где $\nu = 1,6-2,5$. Как видно из рисунка, область температур, при которых наблюдается степенная зависимость при низких концентрациях носителей, начинается с температур порядка 100 К, а при высоких концентрациях с более высоких температур, величина ν убывает с ростом концентрации. Температурная зависимость подвижности в $Pb_{1-x}Sn_xSe$ при $T \leq 100$ К объясняется рассеянием на ионизованных примесях, а при $T \geq 100$ К в области примесной проводимости на длинноволновых акустических фононах. Отличие от закона $\mu \sim T^{-3/2}$, характерного для акустического рассеяния, связано с тем, что в этих указанных полупроводниках сама эффективная масса изменяется с температурой вследствие изменения ширины запрещенной зоны и энергии носителей. В этом случае теория дает: $\mu \sim m^{*-5/2} T^{-3/2}$. Первый множитель приблизительно обратно пропорционален температуре, если температурное изменение эффективной массы имеет величину $\sim T^{0,45}$. В результате получается наблюдаемая нами температурная зависимость $\mu \sim T^{-\nu}$, где $\nu = 1,8-2,2$. При достаточно больших концентрациях носителей ($n \geq (5-6) \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$) статистическое состояние электронов и дырок вырождено. В этом случае теория дает результат: $\mu \sim m^{*-2} T^{-1}$ и температурная зависимость подвижности объясняется рассеянием носителей на ионизованных примесях и собственных дефектах решетки.

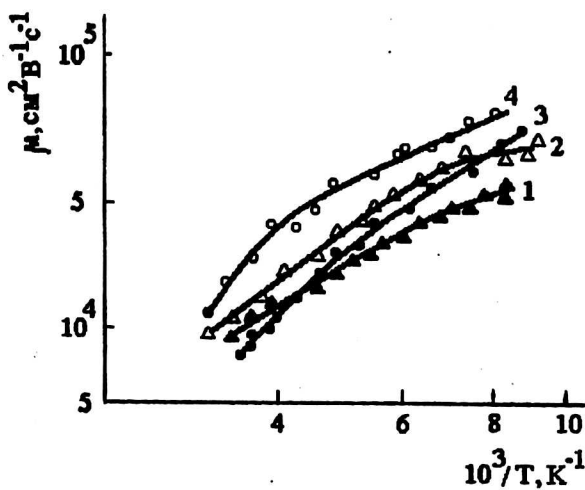


Рис. 2. Температурная зависимость подвижности для $Pb_{0,93}Sn_{0,07}Se$:

1, 2 — нелегированная; 3, 4 — легированная

Литература

1. Сизов Ф. Ф. Твердые растворы халькогенида свинца и олова и фотоприемники на их основе // Зарубежная электронная техника (ЗЭТ). 1977. Т. 24. С. 3—48.
2. Кайданов В. И., Немов С. А., Равич Ю. И. Самокомпенсация электрически активных примесей собственными дефектами в полупроводниках типа $A^{IV}B^{VI}$ // ФТП. 1994. Т. 28. Вып. 3. С. 269—393.
3. Алексеева Г. Т., Гуриева Е. А., Константинов П. П. и др. К вопросу об ионизации изозлектронной примеси олова в разбавленном твердом растворе $Pb_{1-x}Sn_xSe:Na$ // Там же. Т. 29. Вып. 8. С. 1388.

PECULIARITIES OF GROWTH AND ELECTROPHYSICAL PROPERTIES OF EPITAXIAL FILMS OF $Pb_{1-x}Sn_xSe:In$

E. Yu. Salaev, I. R. Nuriyev, Ch. J. Jalilova, N. V. Faradjev

Institute of Photoelectronics of the Azerbaijan Academy of Sciences, Baku, Azerbaijan

Films of $Pb_{1-x}Sn_xSe$ ($x = 0,03 \pm 0,7$) doped by In atoms have been grown on the substrated of BaF_2 (111, 100) by a molecular beam condensation method. Peculiarities of growth and their electrophysical properties have been investigated. The data on structure of films were obtained by electronographic, X-ray diffractometric and electron-microscopic methods. Epitaxial films by the thickness about 1–1,5 μm werw obtained at the substrate temperature equal $(400-450) \pm 0,5$ °C. The magnitudes of half-width of swinging curve of the X-ray diffraction changed within limits of $W_{1/2} = 100-200'$. The concentration and mobility of the charge carriers were $n = (2-5) \cdot 10^{16} cm^{-3}$ and $\mu = (2-3) \cdot 10^4 cm^2/V \cdot s$, accordingly. Films had a mirror-smooth surface by planes of growth (111, 100) on various substrates. The temperature dependences of a Hall coefficient R_H of the $Pb_{1-x}Sn_xSe$ doped by indium (0,3–0,5 mas. %) with different concentration of the charge carries werw investigated. In is shown that mobility determined from Hall and electroconductivity measurements in the impurity conductivity region changes on degree-low $\mu \sim T^{-\nu}$, where $\nu = 1,6-2,5$.