

## ПРОВОДИМОСТЬ ПЛЁНОК $\text{In}_2\text{Te}_3$ В ГЕТЕРОСТРУКТУРАХ НА ОСНОВЕ АРСЕНИДА ИНДИЯ

Е. А. Михайлюк, Т. В. Прокопова, Е. А. Татохин, Н. Н. Безрядин

*Воронежский государственный университет инженерных технологий,  
Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил “Военно-воздушная академия имени  
профессора Н.Е. Жуковского и Ю. А. Гагарина”*

Поступила в редакцию 26.09.2014 г.

**Аннотация:** в статье приведены результаты исследования температурных зависимостей дифференциальной проводимости в гетероструктурах  $\text{Al} - \text{In}_2\text{Te}_3 - \text{InAs}$ . Расчёт значений  $\frac{G_p}{\omega}(\omega)$  и  $C_p(\omega)$  по экспериментальным зависимостям  $G_m(T)$  и  $C_m(T)$ , полученным в диапазоне частот тестового сигнала  $f = (0,2 \div 20)$  кГц проводился с использованием эквивалентных схем. Установлено, что на зависимостях  $\frac{G_p}{\omega}(\omega)$  имеются два максимума: первый при частоте  $f \sim 0,2$  кГц соответствует центру с энергией  $E_t \approx 0,36$  эВ, второй при  $f \sim 4,6$  кГц —  $E_t \approx 0,5$  эВ. Полученные в результате проведенных исследований данные о параметрах ЦЛЗ в пленках теллуридов достаточны для моделирования процесса токопрохождения в этих слоях.

**Ключевые слова:** центры локализации заряда, эквивалентная схема гетероструктуры, дифференциальная проводимость и ёмкость.

## THE CONDUCTIVITY OF THE FILMS $\text{In}_2\text{Te}_3$ IN HETEROSTRUCTURES ON THE BASIS OF INDIUM ARSENIDE

E. A. Mikhailyuk, T. V. Prokopov, E. A. Tatohin, N. N. Bezryadin

**Abstract:** the article presents the results of the study the temperature dependence of the differential conductance in heterostructures  $\text{Al} - \text{In}_2\text{Te}_3 - \text{InAs}$ . The calculated values and experimental dependences  $G_m(T)$  and  $C_m(T)$ , obtained in the frequency range of the test signal  $f = (0,2 \div 20)$  kHz is carried out using equivalent circuits. It is established that the dependency  $\frac{G_p}{\omega}(\omega)$  has two maxima: the first at frequency  $f \sim 0,2$  kHz corresponds to a center of energy  $E_t \approx 0,36$  eV, the second at  $f \sim 4,6$  kHz  $E_t \approx 0,5$  eV. The resulting research data center of localization of charge in films telluride's sufficient for modeling process tokophobia in these layers.

**Keywords:** localization centers of the charge, the equivalent circuit of the heterostructures, the differential conductivity and capacity.

### ВВЕДЕНИЕ

В ряду соединений  $A^{III}B^V$  арсенид индия занимает особое место. Это обусловлено, во-первых, малой шириной запрещённой зоны ( $E_g = 0,36$  эВ) и, во-вторых, малой эффективной массой электронов ( $m_e^* = 0,025$ ) [1]. Благодаря малой ширине запрещённой зоны арсенид индия используется в фотоприёмниках ИК — диапазона и светофильтрах. Вследствие малой

эффективной массы электронов, а значит и высокой подвижности ( $\mu_n \approx 3 \cdot 10^4 \frac{\text{см}^2}{\text{В}\cdot\text{с}}$ ), чувствительность этого соединения к воздействию магнитных полей на один – два порядка выше, чем в германии [1]. Поверхность арсенида индия, как и большинства полупроводников  $A^{III}B^V$ , характеризуется высокой плотностью поверхностных электронных состояний (ПЭС) в запрещённой зоне, что приводит к закреплению уровня Ферми, положение которого на поверхности практически не зависит от природы адсорбированных атомов [2]. Это обстоятельство отрицательно сказывается на работе многих микро- и оптоэлектронных приборов, мешая реализации потенциальных возможностей этого полупроводника и, в частности, использования его в полевых гетероструктурах. Последнее направление его использования актуально с точки зрения повышения быстродействия твердотельных элементов основанных на эффекте поля за счет высокой подвижности свободных электронов.

## МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТА

Эффективным способом решения данной проблемы является включение в гетероструктуру слоя широкозонного полупроводника критической толщины, в качестве изолирующего, пассивирующего покрытия [3], [4]. Основными условиями, предъявляемыми к этим слоям, являются: большая по сравнению с InAs ширина запрещённой зоны, малый уровень сквозного тока в гетероструктуре по сравнению с суммарным генерационным током в области пространственного заряда InAs, изотипность кристаллических структур плёнки и подложки. Для обеспечения малости уровня сквозного тока в гетероструктуре необходимы высокоомные слои. При этом, с целью исключения долговременных релаксационных процессов перераспределения зарядов в слое эта высокоомность не должна быть связана с присутствием в материале слоя центров с глубокими уровнями, снижающих концентрацию свободных носителей заряда за счет их локализации на этих центрах. Наиболее полно этим требованиям для арсенида индия отвечает  $\text{In}_2\text{Te}_3$ , относящийся к классу алмазоподобных полновалентных полупроводников со стехиометрическими вакансиями  $A_2^{III}B_3^{VI}$ .

В данной работе, с целью установления типа проводимости пленок  $\text{In}_2\text{Te}_3$ , полученных на поверхности InAs методом гетеровалентного замещения [5] или изофазной эпитаксии [6] в квазизамкнутом объеме КЗО исследовалась температурная зависимость проводимости этих структур (Рис. 1). Анализ этих зависимостей показал, что для всех исследуемых гетероструктур наклон на зависимостях  $\lg I$  от  $10^3/T$ , отвечающий  $\frac{1}{2}\Delta E_g$ , проявляется уже при  $T \sim 250 \div 300$  К. При более низких температурах наклон этих зависимостей изменяется — сначала увеличивается, при дальнейшем уменьшении температуры, — уменьшается и становится заметно меньше половины запрещенной зоны.

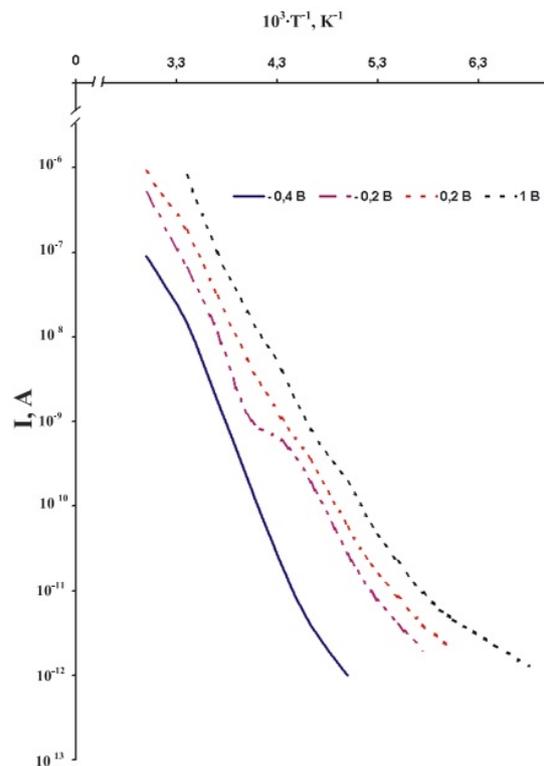


Рис. 1. Зависимость тока в гетероструктуре Al –  $\text{In}_2\text{Te}_3$  – InAs от температуры при различных значениях внешнего напряжения (знак V по Al контакту)

С целью выявления этих особенностей температурных зависимостей проводимости в слоях  $\text{In}_2\text{Te}_3$  методом температурной зависимости дифференциальной проводимости и ёмкости [7] определялись параметры центров локализации заряда (ЦЛЗ) в запрещённой зоне теллурида индия (Рис. 2 и 3).

Исследования проводились в интервале температур  $(80 \div 300) \text{ K}$ . На характеристиках  $G(T)$  гетероструктур  $\text{Al} - \text{In}_2\text{Te}_3 - \text{InAs}$  имеются максимумы в интервале температур от  $230 \text{ K}$  до  $270 \text{ K}$  (Рис. 2). С увеличением частоты тестового сигнала максимум на зависимости  $G(T)$  сдвигается в область высоких температур. В области существования максимума на зависимости  $G(T)$  на графике  $C(T)$  появляется характерная ступенька (Рис. 3). По сдвигу максимума зависимости  $G(T)$  при варьировании частоты тестового сигнала можно оценить глубину залегания ЦЛЗ, ответственного за изменение дифференциальной проводимости гетероструктуры:

$$E_t = \frac{kT_1T_2}{T_1 - T_2} \ln \frac{f_1}{f_2}, \quad (1)$$

где  $T_1$  и  $T_2$  — температуры, соответствующие максимумам на зависимостях  $G(T)$ , измеренных на частотах  $f_1$  и  $f_2$ , соответственно. С использованием (1) по зависимостям  $G(T)$  и  $C(T)$ , измеренных на частотах  $f = (20 \text{ Гц} \div 200 \text{ кГц})$  при  $T = (200 \div 300) \text{ K}$  для гетероструктур  $\text{Al} - \text{In}_2\text{Te}_3 - \text{InAs}$  получено значение  $E_t \sim 0,36 \text{ эВ}$ .

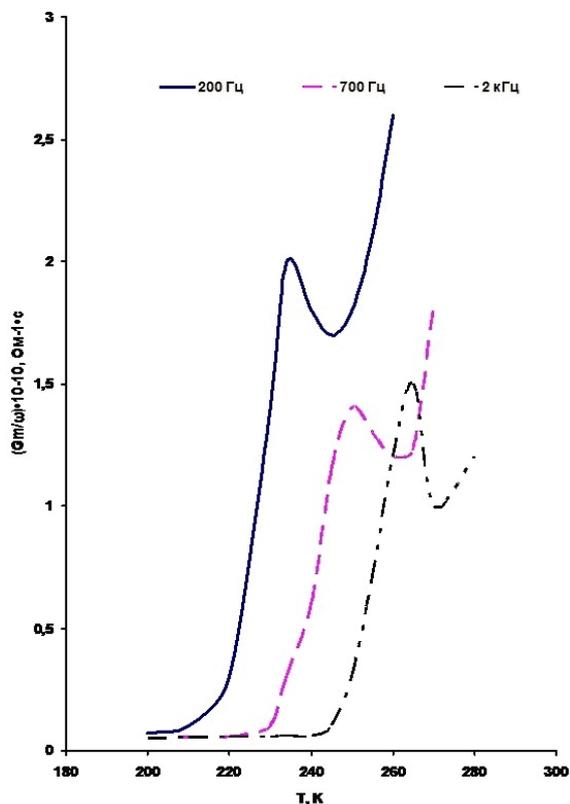


Рис. 2. Температурная зависимость дифференциальной проводимости гетероструктуры  $\text{In}_2\text{Te}_3 - \text{InAs}$  при нулевом потенциале на  $\text{Al}$  – контакте

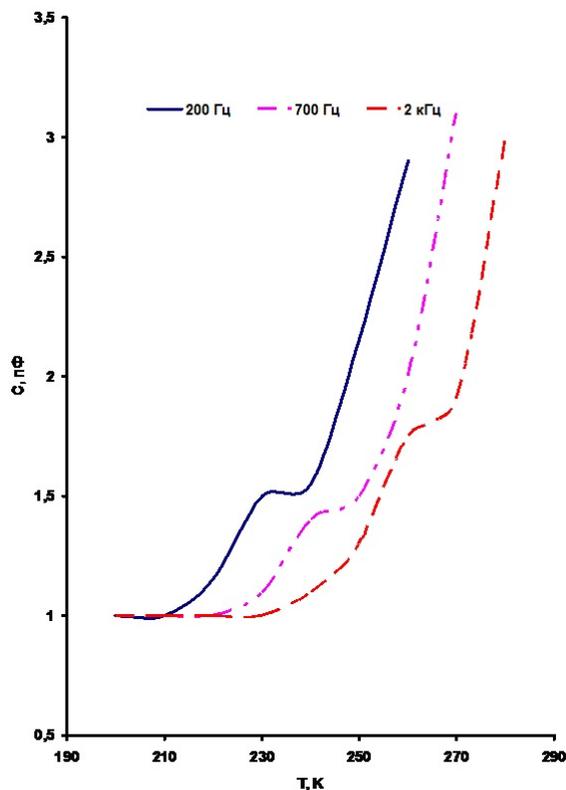


Рис. 3. Температурная зависимость дифференциальной ёмкости гетероструктуры  $\text{In}_2\text{Te}_3 - \text{InAs}$  при нулевом потенциале на  $\text{Al}$  – контакте

С целью оценки концентрации и сечения захвата данного глубокого уровня в слоях теллурида индия строилась эквивалентная схема гетероструктуры на основе измеренных значений дифференциальной проводимости, ёмкости, сопротивления объёма плёнки и гетероструктуры в целом (Рис. 4). На эквивалентной схеме  $C_T$  — геометрическая ёмкость гетероструктуры,

измеренная при низкой температуре,  $C_{\text{ОПЗ}}$  — ёмкость области пространственного заряда в слое,  $R_t$  и  $C_t$  — обусловлены обменом между центрами и разрешёнными зонами в ОПЗ плёнки,  $R_0$  — сопротивление нейтрального объёма плёнки, определяемое на омическом участке вольт — амперной характеристики (ВАХ), при полярности внешнего приложенного напряжения, соответствующей большим уровням тока,  $R_C$  — определяется на начальном участке этой же ветви ВАХ. В расчётах использовалось значение  $R_C^{-1} = 10^{-10} \text{ Ом}^{-1}$ . Поскольку параметр  $R_0$  из ВАХ определяется неоднозначно, исследовались зависимости ёмкости гетероструктуры от частоты тестового сигнала и величины внешнего напряжения. При толщинах слоёв  $d > 0,1 \text{ мкм}$ , вид  $C - V$ -характеристик в диапазоне частот  $f = (10^2 \div 10^3) \text{ Гц}$  и положительном напряжении на алюминиевом контакте подобен зависимостям резко несимметричного гетероперехода [8]. При частотах  $f \geq 1 \text{ МГц}$  ёмкость структуры соответствует геометрической ёмкости подзатворного слоя  $C_T$ . Такое поведение ёмкости гетероструктуры с изменением частоты тестового сигнала может быть объяснено в рамках эквивалентной схемы, включающей последовательно соединённые  $C_{\text{ОПЗ}}$ ,  $R_0$  и параллельно им  $C_T$  [11]. Зависимость ёмкости от частоты в этом случае описывается соотношением:

$$C = \frac{C_{\text{ОПЗ}}}{(\omega\tau)^2 + 1} + C_T \quad (2)$$

где  $\omega = 2\pi f$  — циклическая частота тестового сигнала,  $\tau = R_0 C_{\text{ОПЗ}}$  — постоянная времени релаксации процесса. Полученное из частотной зависимости с использованием (2) значение  $R_0^{-1} = 10^{-6} \text{ Ом}^{-1}$  соответствует значению сопротивления гетероструктуры на ВАХ при больших уровнях токов. Это значение  $R_0$  и использовалось в расчётах.

Вклад в полную дифференциальную проводимость гетероструктуры ёмкости ОПЗ в InAs с концентрацией основных носителей заряда  $n \sim 10^{18} \text{ см}^{-3}$  незначителен при использовании слоёв толщиной  $d \leq 0,1 \text{ мкм}$  и в данном случае не учитывался.

Поскольку регистрация дифференциальной ёмкости  $C_m$  и проводимости  $G_m$  гетероструктур проводится с помощью устройства, измеряющего составляющие полной проводимости гетероструктуры, представленной параллельно соединёнными  $C_m$  и  $G_m$  (рис. 4а), проведено преобразование полной проводимости структуры, соответствующей эквивалентной схеме (рис. 4 б) в измеренные составляющие  $G_m$  и  $C_m$ . В итоге (рис. 4в) параллельные составляющие

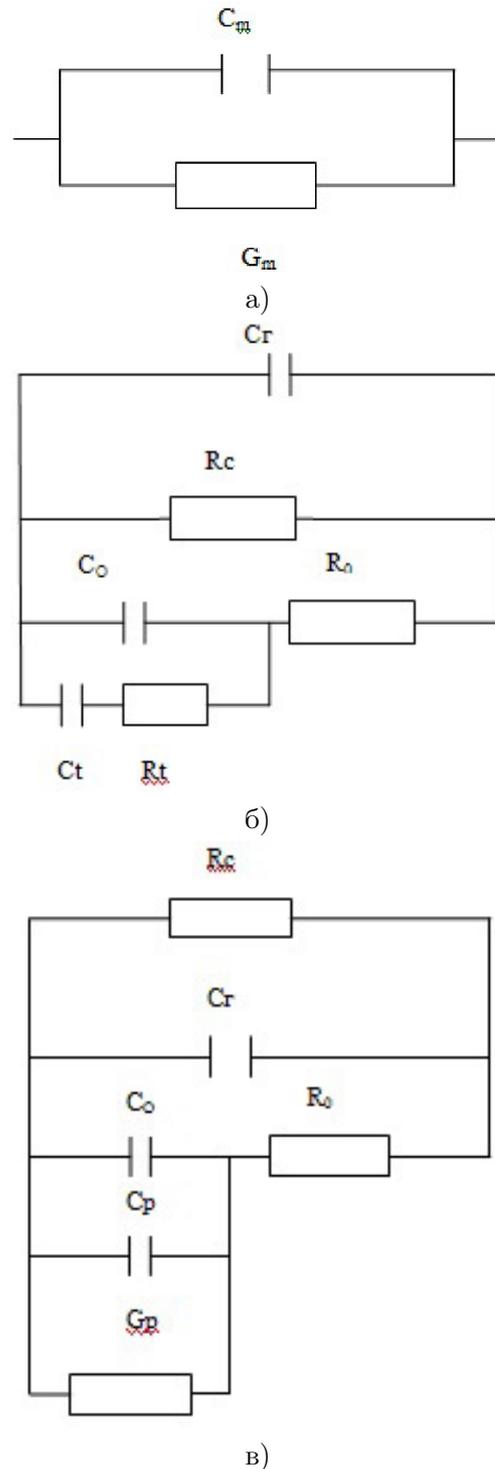


Рис. 4. Эквивалентные схемы, соответствующие: а, б, в — гетеропереходам  $\text{In}_2\text{Te}_3 - \text{InAs}$

щие эквивалентной схемы гетероструктуры  $\frac{G_p}{\omega}$  и  $C_p$  для поверхностных состояний получается в виде:

$$\frac{G_p}{\omega} = \frac{G_0 \cdot [G_m^2 + \omega^2 \cdot (C_m - C_r)^2] \cdot [G_0 \cdot G_m^- (G_m^2 + \omega^2 \cdot (C_m - C_r)^2)]}{\omega \cdot [G_0 \cdot G_m - (G_m^2 + \omega^2 \cdot (C_m - C_r)^2)]^2 + \omega^2 \cdot G_0^2 \cdot (C_m - C_r)^2} \quad (3)$$

$$C_p = \frac{\omega \cdot G_0 \cdot (C_m - C_r)}{[G_0 G_m - (G_m^2 + \omega^2 \cdot (C_m - C_r)^2)]^2 + \omega^2 \cdot G_0^2 \cdot (C_m - C_r)^2} \quad (4)$$

### ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Расчёт значений  $\frac{G_p}{\omega}(\omega)$  и  $C_p(\omega)$  по экспериментальным зависимостям  $G_m(T)$  и  $C_m(T)$ , полученным в диапазоне частот тестового сигнала  $f = (0,2 \div 20)$  кГц, проводился для различных температур в области максимумов на кривых  $G_m(T)$ . Результаты представлены на рисунках 5. Видно, что на зависимостях  $\frac{G_p}{\omega}(\omega)$  имеются два максимума: первый при частоте  $f \sim 0,2$  кГц, второй при  $f \sim 4,6$  кГц.

Эта особенность существования двух максимумов на зависимости  $\frac{G_p}{\omega}(\omega)$  в отличие от одного на зависимостях  $G_m(T)$  объясняется в рамках представлений о двух энергетических уровнях в запрещённой зоне слоёв. Один из них отчётливо проявляется на зависимостях  $G_m(T)$  со стороны низких температур. Его энергия в слоях теллурида индия, оцененная по зависимостям  $G_m(T)$  и формуле (1) составляет:  $E_t \sim 0,36$  эВ. Следует отметить, что ЦЛЗ с такой энергией наблюдается в объёмных образцах In<sub>2</sub>Te<sub>3</sub> [9] и связывается с комплексами из вакансий в кристаллах. Максимум на зависимостях  $\frac{G_p}{\omega}(\omega)$ , наблюдаемый в области более высоких частот пропадает, начиная с температур  $T \sim 250$  К. Оставшийся максимум наблюдается на зависимостях вплоть до  $T \sim 350$  К. Оценить энергию активации центра, ответственного за существование этого максимума из зависимостей  $G_m(T)$  не удастся ввиду отсутствия второго пика на температурной зависимости дифференциальной проводимости. Его отсутствие обусловлено наложением сквозного тока дифференциальной проводимости в этом диапазоне температур и частот тестового сигнала. По-видимому, энергия активации этого центра соответствует энергии, определённой в [4] из температурных зависимостей ВАХ и равна  $E_t \approx 0,5$  эВ.

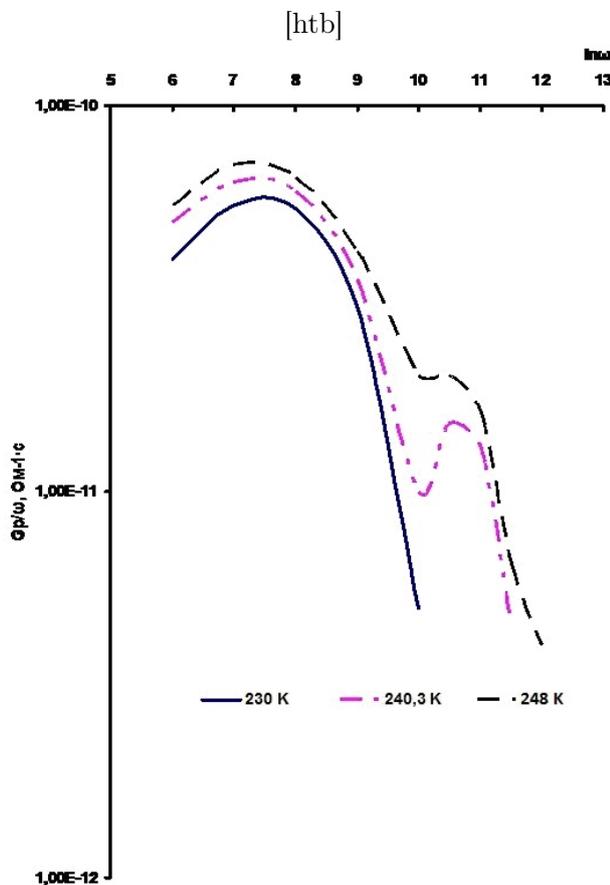


Рис. 5. Зависимость параллельной составляющей  $\frac{G_p}{\omega}(\omega)$ , при различных температурах для гетероструктур Al – In<sub>2</sub>Te<sub>3</sub> – InAs

Оценка концентрации этих центров проведена по величинам максимумов на зависимостях  $\frac{G_p}{\omega}(\omega)$ . Для этого использовались известные из [7] соотношения, связывающие  $C_S$  с  $N_{ts}$  в предположении, что вклад в дифференциальную проводимость дают центры, лежащие в плоскости, в которой уровень Ферми пересекает энергетический уровень центров:

$$C_S = qSN_{ts}, \quad (5)$$

где

$$C_S = 2 \frac{G_p}{\omega} \Big|_{\max}. \quad (6)$$

Расчёт объёмных значений  $N_t$  составляет:

- для центров  $E_t = 0,36$  эВ —  $N_t = (1,2 \div 7,4) \cdot 10^{15}$  см<sup>-3</sup>;
- для центров  $E_t = 0,5$  эВ —  $N_t = (4 \div 7,8) \cdot 10^{15}$  см<sup>-3</sup>.

С учётом того, что  $\omega\tau = 1$  в точке, где зависимость  $\frac{G_p}{\omega}(\omega)$  имеет максимум можно оценить величину постоянной времени релаксации соответствующих центров, которая составляет:

- для центров  $E_t \approx 0,36$  эВ —  $\tau = (3 \div 4,6) \cdot 10^{-3}$  с;
- для центров  $E_t \approx 0,5$  эВ —  $\tau = (7,94 \div 7,96) \cdot 10^{-4}$  с.

Используя связь времени релаксации с сечением захвата [7] и полагая, что эффективная плотность электронных состояний в зоне проводимости  $N_C \sim 10^{19}$  см<sup>-3</sup>, а средняя тепловая скорость носителей заряда в теллуридах  $\langle v \rangle \sim 10^7$  см·с<sup>-1</sup> получены оценки сечений захвата центров, которые составляют:

- для центров  $E_t \approx 0,36$  эВ —  $\sigma \sim 10^{-14}$  см<sup>-2</sup>;
- для центров  $E_t \approx 0,5$  эВ —  $\sigma \sim 10^{-12}$  см<sup>-2</sup>;

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Полученные значения сечения захвата центров позволяют предположить, что центр с энергией  $E_t \sim 0,36$  эВ представляет собой нейтральную ловушку, а центр с энергией  $E_t \approx 0,5$  эВ донорного типа [10]. Следует отметить, что в пользу донорного типа центра с энергией  $\sim 0,5$  эВ свидетельствует также и механизм токопрохождения носителей заряда в слоях теллурида индия, установленный ранее в работе [11].

Полученные в результате проведённых исследований данные о параметрах ЦЛЗ в плёнках теллуридов достаточны для моделирования процесса токопрохождения в этих слоях.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Войцеховский В.Н. Фотоэлектрические МДП - структуры из узкозонных полупроводников / В.Н. Войцеховский, В.Н. Давыдов. — Томск: “Радио и связь”, 1990. — 327 с.
- [2] Baier H.U. Oxidation of InAs (110) and correlated changes of electronic surface properties / H.U. Baier, I. Koenders, W. Monch // J. Vac. Technol. — 1986. — Vol. 4, № 4. — P. 1095–1099.
- [3] Сысоев Б.И. К вопросу об управлении поверхностным зарядом в полупроводниках с помощью тонких слоев широкозонных полупроводников / Б.И. Сысоев, В.Ф. Сыноров // Физика и техника полупроводников. — 1972. — Т. 6, № 10, С. 1856–1859.
- [4] Heterostructures on the basis of indium arsenide with semiinsulating  $A_2^{III}B_3^{VI}$  compound layers / V.S. Postnicov, B.I. Sysoev, A.V. Budanov et al // Phys. Stat. Sol. — 1988. — Vol. 109. — P. 467–483.

- [5] Махний В.П. Механизм образования гетероструктур при твердофазном замещении на основе соединений  $A^{III}B^{VI}$  / В.П. Махний // Известия Академии наук СССР. Неорганические материалы. — 1991. — Т. 27, № 3. — С. 519–620.
- [6] Подготовка подложек  $\text{InAs}$  и получение гетероперехода  $\text{In}_2\text{Te}_3 - \text{InAs}$  в квазизамкнутом объеме / Ю.К. Шлык, В.Н. Моргунов, Г.М. Шевелева и др. // Полупроводниковая электроника. Межвуз. сб. — Воронеж: Изд-во ВГПИ, 1985. — С. 5–11.
- [7] Investigation of heterojunctions for MIS devices with oxygen – doped  $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$  on n-type  $\text{GaAs}$  / H.C. Casey, A.Y. Cho, D.V. Lang et. al. // J. Appl. Phys. — 1979. — Vol. 50, № 5. — P. 3484–3491.
- [8] Милнс А. Гетеропереходы и переходы металл – полупроводник / А. Милнс, Д. Фойхт. — М.: Мир, 1975. — 432 с.
- [9] Кинетика фотопроводимости дефектного полупроводника  $\text{In}_2\text{Te}_3$  / Б.Д. Ананьина, В.Л. Бакуменко, А.К. Бонаков и др. // Физика и техника полупроводников. — 1979. — Т. 13, вып. 5. — С. 961–965.
- [10] Роуз А. Основы теории фотопроводимости / А. Роуз. — М.: Мир, 1996. — 138 с.
- [11] Электрофизические свойства  $\text{In}_2\text{Te}_3$  и  $\text{In}_{2x}\text{Ga}_{2(1-x)}\text{Te}_3$  в гетероструктурах на основе  $\text{InAs}$  / Н.Н. Безрядин, Е.А. Михайлюк, А.В. Буданов, Т.В. Прокопова // Вестник Воронежского государственного технического университета. — 2014. — Т. 10, № 4. — С. 69–73.

## REFERENCES

- [1] Wojciechowski V.N., Davydov V.N. Photovoltaic MIS - structures of narrow-gap semiconductors. [Vojcexovskij V.N., Davydov V.N. Fotoe'lektricheskie MDP - struktury iz uzkozonnux poluprovodnikov]. Tomsk: "Radio and communication", 1990, 327 p.
- [2] Baier H.U., Koenders I., Monch W. Oxidation of  $\text{InAs}$  (110) and correlated changes of electronic surface properties. J. Vac. Technol., 1986, Vol. 4, no. 4, pp. 1095–1099.
- [3] Sysoev B.I., Sidorov V.F. To the question about the management of surface charge in semiconductors using thin layers of wide bandgap semiconductors. [Sysoev B.I., Synorov V.F. K voprosu ob upravlenii poverxnostnym zaryadom v poluprovodnikax s pomoshh'yu tonkix sloev shirokozonnux poluprovodnikov]. *Fizika i tehnika poluprovodnikov — Semiconductors*, 1972, Vol. 6, no. 10, pp. 1856–1859.
- [4] Postnicov V.S., Sysoev B.I., Budanov A.V., Bezryadin N.N., Shlyk Yu.K., Agapov B.L. Heterostructures on the basis of indium arsenide with semiinsulating  $\text{A}_2^{III}\text{B}_3^{VI}$  compound layers. Phys. Stat. sol., 1988, Vol. 109, pp. 467–483.
- [5] Magni V.P. Mechanism of formation of heterostructures for solid-phase substitution on the basis of  $A_{III}B_{VI}$  compounds. [Махний В.П. Механизм образования гетероструктур при твердофазном замещении на основе соединений  $A^{III}B^{VI}$ ]. *Izvestiya Akademii nauk SSSR. Neorganicheskie materialy — Proceedings of the Academy of Sciences of the USSR. Inorganic materials*, 1991, Vol. 27, no. 3, pp. 519–620.
- [6] Shlyk J.K., Morgunov V.N., Sheveleva G.M., Bezryadin N.N., Kuzmenko T.A. Preparation of  $\text{InAs}$  substrates and receiving heterojunction  $\text{In}_2\text{Te}_3 - \text{InAs}$  in close spaced sublimation technique extent. [Shlyk J.K., Morgunov V.N., Sheveleva G.M., Bezryadin N.N., Kuzmenko T.A. Podgotovka podlozhek  $\text{InAs}$  i poluchenie geteroperexoda  $\text{In}_2\text{Te}_3 - \text{InAs}$  v kvazizamknutom ob"eme]. Solid state electronics. Meiwes. sat., Voronezh: Publishing house of the Institute, 1985, pp. 5–11.
- [7] Casey H.C., Cho A.Y., Lang D.V., Nicollian E.H. et. al. Investigation of heterojunctions for MIS devices with oxygen – doped  $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$  on n-type  $\text{GaAs}$ . J. Appl. Phys., 1979, Vol. 50, no. 5, pp. 3484–3491.
- [8] Milnes A. Heterojunctions and transitions metal - semiconductor. [Milns A. Geteroperexody i perexody metall – poluprovodnik]. Moscow: Mir, 1975, 432 p.
- [9] Ananina B.D., Bakumenko B.L., Bonakov A.K. et. al. Kinetics of photoconductivity

defective semiconductor  $\text{In}_2\text{Te}_3$ . [Anan'ina B.D., Bakumenko V.L., Bonakov A.K. i dr. Kinetika fotoprovodimosti defektnogo poluprovodnika  $\text{In}_2\text{Te}_3$ ]. *Fizika i tehnika poluprovodnikov – Semiconductors*, 1979, Vol. 13, no. 5, pp. 961–965.

[10] Rose A. Fundamentals of the theory of photoconductivity. [Rouz A. Osnovy teorii fotoprovodimosti]. Moscow: Mir, 1996, 138 p.

[11] Bezryadin N.N., Mikhailyuk E.A., Budanov A.V., Prokopova T.V. Electrophysical properties of  $\text{In}_2\text{Te}_3$  and  $\text{In}_{2x}\text{Ga}_{2(1-x)}\text{Te}_3$  in heterostructures based on InAs. [Bezryadin N.N., Mixajlyuk E.A., Budanov A.V., Prokopova T.V. E'lektrofizicheskie svoystva  $\text{In}_2\text{Te}_3$  i  $\text{In}_{2x}\text{Ga}_{2(1-x)}\text{Te}_3$  v geterostrukturax na osnove InAs]. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta – Herald of the Voronezh state technical University*, 2014, Vol. 10, no. 4, pp. 69–73.

*Михайлюк Екатерина Андреевна, аспирант кафедры физики Воронежского государственного университета инженерных технологий, г. Воронеж, Российская Федерация*  
E-mail: gazon1978@yandex.ru  
Тел.: +7 (905)–670–27–80

*Mikhailyuk Ekaterina Andreevna, graduate student, physics Department, Voronezh state University of engineering technologies, Voronezh, Russian Federation*  
E-mail: gazon1978@yandex.ru  
Tel.: +7 (905)–670–27–80

*Прокопова Татьяна Владимировна, кандидат физико-математических наук, доцент кафедры физики и химии Военного учебно-научного центра Военно-воздушных сил “Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина”, г. Воронеж, Российская Федерация*  
E-mail: kop1965@mail.ru  
Тел.: +7(473)–255–07–62

*Prokopov Tatyana Vladimirovna, candidate of physico-mathematical Sciences, associate Professor of physics and chemistry of Military training and research center air force "air force Academy named after Professor N.E. Zhukovsky and Y.A. Gagarin", Voronezh, Russian Federation*  
E-mail: kop1965@mail.ru  
Tel.: +7(473)–255–07–62

*Татохин Евгений Анатольевич, кандидат физико-математических наук, доцент кафедры физики Воронежского государственного университета инженерных технологий, г. Воронеж, Российская Федерация*  
E-mail: phys@vgta.vrn.ru  
Тел.: +7(473)–255–07–62

*Tatohin Eugene Anatolevich, candidate of physico-mathematical Sciences, associate Professor of physics, Voronezh state University of engineering technologies, Voronezh, Russian Federation*  
E-mail: phys@vgta.vrn.ru  
Tel.: +7(473)–255–07–62

*Безрядин Николай Николаевич, заведующий кафедрой физики Воронежского государственного университета инженерных технологий, доктор физико-математических наук, профессор, г. Воронеж, Российская Федерация*  
E-mail: kop1965@mail.ru  
Тел.: +7(473)–255–07–62

*Bezryadin Nikolai Nikolaevich, head of the Department of physics, Voronezh state University of engineering technologies, doctor of physico-mathematical Sciences, Professor, Voronezh, Russian Federation*  
E-mail: kop1965@mail.ru  
Tel.: +7(473)–255–07–62