

УДК 52-334.7; 621.315.592.2

## ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПЛЕНОК АНТИМОНИДА ИНДИЯ (InSb), ОБЛУЧЕННЫХ ГАММА-КВАНТАМИ

Колесникова Е.А., Углов В.В., Тетеруков Е.В.

*Белорусский государственный университет  
Минск, Республика Беларусь*

**Аннотация.** В работе представлены исследования влияния облучения гамма-квантами  $\text{Co}^{60}$  с экспозиционной дозой не менее  $10^{15}$ – $10^{16}$  кв./см<sup>2</sup> на удельное электросопротивление гетероэпитаксиальных пленок InSb, сформированных методом взрывного термического испарения. Условия облучения являются имитацией радиационного воздействия на околоземной орбите с поглощенной дозой не менее  $2 \cdot (10^6$ – $10^7)$  рад. Проведенные исследования показали, что в результате облучения удельное сопротивление пленок InSb не изменяется, что свидетельствует о высокой стойкости гетероэпитаксиальных пленок InSb и устройств на их основе к заданным радиационным воздействиям.

**Ключевые слова:** антимонид индия; пленка; вакуумное осаждение; удельное сопротивление; радиационная стабильность.

## INVESTIGATION OF THE ELECTRIC PROPERTIES OF INDIUM ANTIMONIDE FILMS (InSb) IRRADIATED BY GAMMA RAYS

Kolesnikova E., Uglov V., Teterukov E.

*Belarusian state university  
Minsk, Belarus*

**Abstract.** In this work, presents a study of the effect of irradiation with  $\text{Co}^{60}$   $\gamma$ -irradiation with an exposure dose of at least  $10^{15}$ – $10^{16}$  cm<sup>-2</sup> on the electrical resistivity of heteroepitaxial InSb films formed by explosive thermal evaporation. The irradiation conditions are imitation of radiation exposure in Earth orbit with an absorbed dose of at least  $2 \cdot (10^6$ – $10^7)$  rad. The studies carried out have shown that, as a result of irradiation, the electrical resistivity of InSb films does not change, which indicates a high resistant of heteroepitaxial InSb films and devices based on them to the specified radiation effects.

**Keywords:** indium antimonide; film; vacuum deposition; electrical resistivity; radiation stability.

*Адрес для переписки: Колесникова Е.А., ул. Бобруйская, 5, г. Минск 220006, Республика Беларусь  
e-mail: kolesnikea@bsu.by*

Антимонид индия (InSb) имеет широкое применение в области микро- и оптоэлектроники. InSb имеет рекордно высокую подвижность электронов и длину свободного пробега, а также рабочий температурный диапазон более 500 градусов. Фотопроводимость InSb лежит в ИК-диапазоне с длиной волны вплоть до  $\lambda = 7$  мкм. Именно поэтому на основе InSb изготавливают высокочувствительные фотоэлементы, датчики Холла, магниторезисторы, оптические фильтры, которые, в том числе, могут использоваться для комплектации космических аппаратов [1].

Во время эксплуатации космические аппараты подвергаются воздействию ионизирующего излучения, что приводит к появлению дефектов в структуре используемого полупроводникового кристалла и, как следствие, изменению функциональных характеристик приборов и устройств на их основе. Поэтому важно при разработке учитывать процессы, происходящие в полупроводниках при воздействии ионизирующего излучения.

Из литературы известно, что дефекты в кристаллической решетке при облучении гамма-квантами вызваны непосредственно воздействием вторичных электронов, излучаемых в ходе комптоновского рассеяния, фотоэффекта и образования пар [2]. Взаимодействие вторичных элек-

тронов с веществом приводит к смещению атомов в узлах кристаллической решетки, оказывающему влияние на конечные электрические и оптические свойства полупроводниковых материалов [3–6]. В частности, что после облучения InAs/GaSb гамма-квантами с энергией 1,17 и 1,33 МэВ и дозой 500 Гр привело к уменьшению подвижности и длины свободного пробега носителей заряда [3]. При облучении GaAs также наблюдалось уменьшение подвижности и концентрации носителей заряда, что может быть связано с появлением в ходе облучения дополнительных центров рассеяния и рекомбинации в виде радиационных дефектов кристаллической решетки [6].

В данной работе проведено исследование удельного электросопротивления пленок InSb, подвергнутых облучению, имитирующему радиационное воздействие на околоземной орбите.

Осаждение пленок InSb проводилось на полированные пластины i-GaAs (100) методом взрывного термического испарения монокристаллического порошка InSb [7]. Контролируемая температурой температура подложки-держателя с пластиной GaAs составляла  $(430 \pm 2,5)$  °С. Проведенные исследования показали, что при этой температуре формируются гетероэпитаксиальные

пленки InSb [8]. После получения пленок их толщина измерялась с помощью профилометра MahrMarSurf M400. Измеренная толщина полученной пленки составила  $(2,0 \pm 0,05)$  мкм.

Для имитации условий радиационного воздействия на околоземной орбите пленки InSb были подвергнуты облучению гамма-квантами  $Co^{60}$  на гамма-установке «Исследователь» с экспозиционной дозой не менее  $10^{15}$ – $10^{16}$  кв./см<sup>2</sup> (оцененная поглощенная доза порядка  $2 \times (10^6$ – $10^7)$  рад). Как известно, системы для орбитальных космических аппаратов разрабатываются с радиационной стойкостью не менее  $10^6$  рад [9].

Для определения радиационной стойкости получаемых пленок были проведены измерения удельного электросопротивления до и после облучения. Отметим, что для всей серии образцов пленок InSb зависимости  $\rho(T)$  аналогичны представленной на рис. 1.

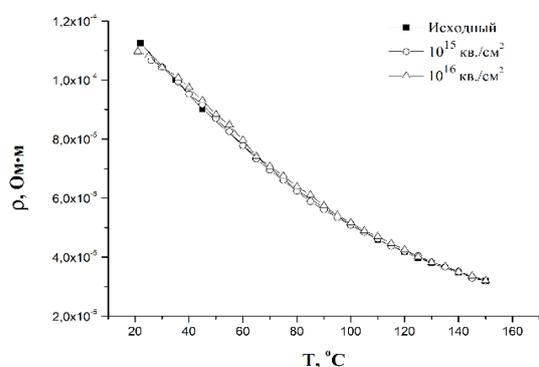


Рисунок 1 – Удельное электросопротивление пленки InSb в зависимости от температуры для различных доз облучения гамма-квантами

Из данных рис. 1 следует, что облучение гамма-квантами в интервале доз  $10^{15}$ – $10^{16}$  кв./см<sup>2</sup> гетероэпитаксиальных пленок InSb не изменяет их удельного электросопротивления. Из литературных данных известно, что при облучении монокристаллов электронами интегральными потоками до  $1 \times 10^{19}$  см<sup>-2</sup>, протонами до  $2 \times 10^{16}$  см<sup>-2</sup> происходит уменьшение концентрации свободных носителей заряда до определенного значения с ростом дозы облучения, т.е. удельное электросопротивление монокристалла увеличивается с ростом дозы облучения [2]. Гетероэпитаксиальные пленки InSb в отличие от совершенных кристаллов обладают структурными особенностями, состоящими в мелкокристаллической структуре пленки, наличии внутренних напряжений, границ

кристаллитов, а также наличием переходного дефектного слоя между подложкой и пленкой. Эти структурные особенности пленок представляют собой стоки для генерируемых при облучении гамма-квантами радиационных дефектов кристаллической решетки. Рекомбинация генерируемых дефектов на особенностях структуры гетероэпитаксиальных пленок InSb приводит к постоянству удельного электросопротивления.

**Заключение.** Установлено, что облучение гамма-квантами в интервале доз  $10^{15}$ – $10^{16}$  кв./см<sup>2</sup>, имитирующие радиационное воздействие на околоземной орбите, гетероэпитаксиальных пленок InSb не изменяет их удельного электросопротивления.

#### Литература

1. Болванович, Э. И. Полупроводниковые пленки и миниатюрные измерительные преобразователи / Э. И. Болванович. – Минск : Наука и техника, 1981. – 214 с.
2. Gamma and electron NIEL dependence of irradiated GaAs / E. El Allam [et al.] // IEEE Transactions on Nuclear Science. – 2017. – Vol. 64, issue 3. – P. 991–998.
3. Impact of temperature and gamma radiation on electron diffusion length and mobility in p-type InAs/GaSb superlattices / J. Lee [et al.] // Journal of Applied Physics. – 2018. – Vol. 123, iss. 23. – P. 235104.
4. Wang, J. Effects of irradiation with gamma and beta rays on semiconductor Hall effect device / J. Wang, W. Yang // Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B. – 2008. – Vol. 266, iss. 16. – P. 3583–3587.
5. Performance analysis of GaAs based solar cells under gamma irradiation / N. Papež [et al.] // Applied Surface Science. – 2020. – Vol. 510. – P. 145329.
6. Effect of <sup>60</sup>Co c-ray irradiation on electrical properties of GaAs epilayer and GaAs p-i-n diode / Sh. K. Khamar [et al.] // Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B. – 2011. – Vol. 269, iss. 3. – P. 272–276.
7. Maissel, L. I. Handbook of Thin Film Technology / L. I. Maissel, R. Glang // New York : McGraw-Hill, 1970. – 800 p.
8. Структура и терморезистивные свойства пленок антимида индия, полученных методом взрывного термического испарения / Е. А. Колесникова [и др.] // Материалы и структуры современной электроники : материалы IX Международной научной конференции / БГУ. – Минск, 2020. – С. 65–70.
9. Егоров, Д. А. Проблемы обеспечения радиационной стойкости волоконно-оптических гироскопов и пути ее повышения (обзор) / Д. А. Егоров, А. В. Рупасов, А. А. Унтилов // Гироскопия и навигация. – 2018. – Т. 26, № 4 (103). – С. 23–42.