

УДК 621.315.592

## Спектральные характеристики поглощения в эпитаксиальных структурах на основе InAs при температурах 80 К и 300 К

О. С. Комков, Д. Д. Фирсов, Е. А. Ковалишина, А. С. Петров

*В работе исследованы эпитаксиальные структуры  $n$ -InAs, выращенные на сильнолегированной подложке  $n^{++}$ -InAs методом хлоридно-гидридной эпитаксии. Представлены экспериментально полученные спектры показателя поглощения  $n^{++}$ -InAs при 83 К и 300 К. Проведено сравнение спектральных зависимостей доли поглощаемого в эпитаксиальном слое излучения при облучении со стороны подложки с различным уровнем легирования  $n = (0,6-3,3) \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$ .*

PACS: 78.30.Fs, 81.05.Ea, 07.07.Df, 07.57.-c, 85.60.Gz

**Ключевые слова:** арсенид индия, InAs, показатель поглощения, влияние легирования, эффект Бурштейна–Мосса.

### Введение

Одинокные и матричные фотоприёмные устройства, чувствительные к излучению в диапазоне 2,0—4,0 мкм находят применение в приборах газового анализа [1], медицинском тепловидении [2], ИК-микроскопах для научных исследований [3], системах лазерной локации, экологического мониторинга и дистанционного зондирования Земли из Космоса [4]. Для работы в этом спектральном диапазоне идеально подходят фотоприёмники на основе арсенида индия.

Фотоприёмники такого типа представляют собой фотодиоды или МДП-структуры, поглощающим слоем в которых является эпитаксиальный слой нелегированного арсенида индия  $n$ -типа проводимости, выращенный на сильнолегированной подложке  $n^{++}$ -InAs [5]. Засветка обычно производится через сильнолегированную подложку, край полосы поглощения которой сдвинут в коротковолновую область спектра, что обусловлено эффектом Бурштейна–Мосса. При этом данные о пропускании подложек  $n^{++}$ -InAs, известные из литературы, имеют заметные отличия [6, 7].

В настоящей работе представлены результаты исследования оптического поглощения в пластинах  $n^{++}$ -InAs, используемых в качестве подложек при эпитаксиальном наращивании, а также в эпитаксиальных слоях  $n$ -InAs, в зависимости от температуры и уровня легирования подложки. Произведено сравнение спектральных зависимостей поглощения в эпитаксиальных слоях, освещаемых через подложку, при различных уровнях легирования подложек и температурах.

### Образцы и методы исследования

Измерение оптического поглощения производилось на монокристаллических пластинах арсенида индия марки ИМЭС(100) толщиной 1,8—2,0 мм, ориентированных в плоскости (100) и легированных серой до концентраций  $n = (0,6-3,3) \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$ . Пластины перед измерениями подвергались химико-механической полировке по методике [8]. Эпитаксиальные слои  $n$ -InAs выращивались из газовой фазы хлоридно-гидридным методом [5]. Толщина слоёв составляла 6—10 мкм и контролировалась по наблюдаемой в ИК-диапазоне интерференционной картине [9]. Концентрация носителей заряда в эпитаксиальном слое составляла  $(2-3) \cdot 10^{15} \text{ см}^{-3}$ .

Измерения проводились на инфракрасном фурье-спектрометре VERTEX 80 (Bruker Optics), исследуемые образцы помещались в гелиевый криостат замкнутого цикла. Спектры показателя поглощения подложек  $a'(\lambda)$  определялись на основе измеренных коэффициентов пропускания  $T(\lambda)$  и отражения  $R(\lambda)$  по модели, учитывающей многократное отражение зондирующего луча в подложке. Для нахождения спектра показателя поглощения нелегированного слоя проводились измерения коэффициентов пропускания и отражения структуры

**Комков Олег Сергеевич**, доцент каф. микро- и нанoeлектроники<sup>1</sup>.

**Фирсов Дмитрий Дмитриевич**, ассистент каф. микро- и нанoeлектроники<sup>1</sup>.

**Ковалишина Екатерина Алексеевна**, инженер-химик<sup>2</sup>.  
**Петров Александр Сергеевич**, начальник лабораторий<sup>2</sup>.

<sup>1</sup> Санкт-Петербургский Государственный электротехнический университет «ЛЭТИ».

Россия, 197376, Санкт-Петербург, ул. Профессора Попова, 5. Тел. (812) 234-31-64. E-mail: okomkov@yahoo.com

<sup>2</sup> ОАО «ЦНИИ «Электрон».

Россия, 194223, Санкт-Петербург, пр. Тореза, 68.

Статья поступила в редакцию 10 сентября 2014 г.

© Комков О. С., Фирсов Д. Д., Ковалишина Е. А., Петров А. С., 2014

с эпитаксиальным слоем, выращенным на подложке с концентрацией носителей  $1,8 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$ .

### Экспериментальные результаты

Спектры показателей поглощения для образцов с различным уровнем легирования при температурах 83 и 300 К представлены на рис. 1 и 2. Повышение уровня легирования расширяет спектральный диапазон пропускания в коротковолновую область спектра. Однако при этом возрастает поглощение на свободных носителях, что ведёт к уменьшению пропускания в длинноволновой области спектра. Пики на зависимости коэффициента поглощения в диапазоне 2,5—2,7 мкм (рис. 1)

вызваны помехой, обусловленной поглощением на парах воды.

На основе полученных спектров поглощения в слое, осажденном на подложке с  $n^{++}\text{-InAs} = 1,8 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$ , были проведены расчёты доли поглощения излучения в эпитаксиальном слое при засветке через подложки различной толщины и с различным уровнем легирования. Коэффициент отражения от границы “воздух—подложка” принимался равным измеренному коэффициенту отражения структуры, при этом отражением света на границе “подложка—слой” пренебрегалось. Результаты расчётов для двух различных температур представлены на рис. 3.

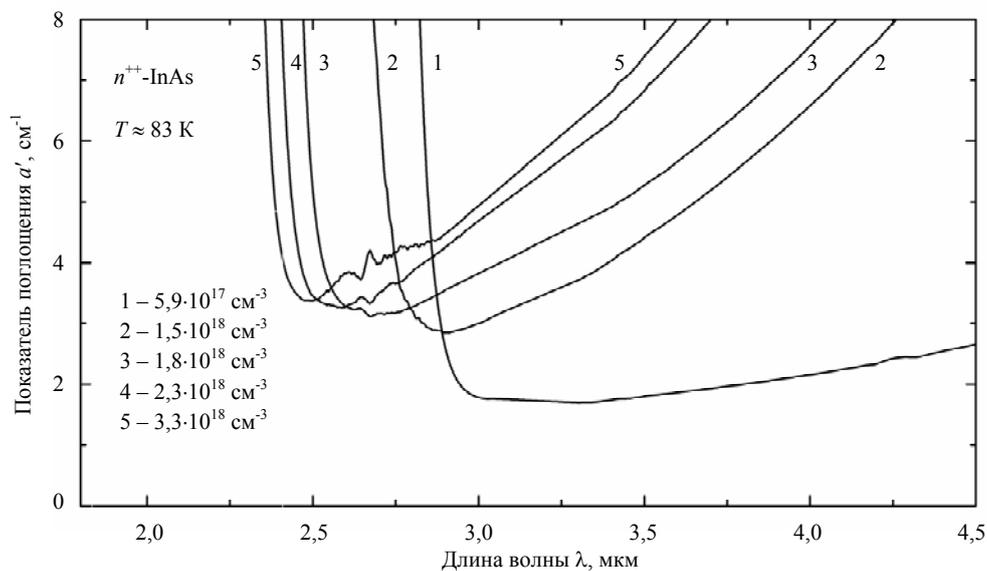


Рис. 1. Спектры показателя поглощения для  $n^{++}\text{-InAs}$  с различной концентрацией носителей заряда, измеренные при температуре  $\approx 83 \text{ К}$

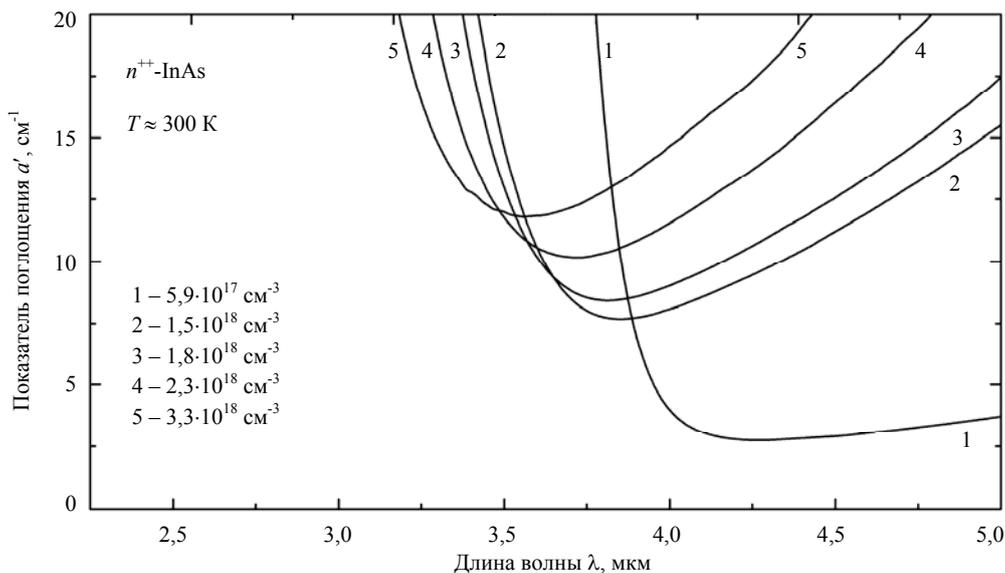


Рис. 2. Спектры показателя поглощения для  $n^{++}\text{-InAs}$  с различной концентрацией носителей заряда, измеренные при температуре 300 К

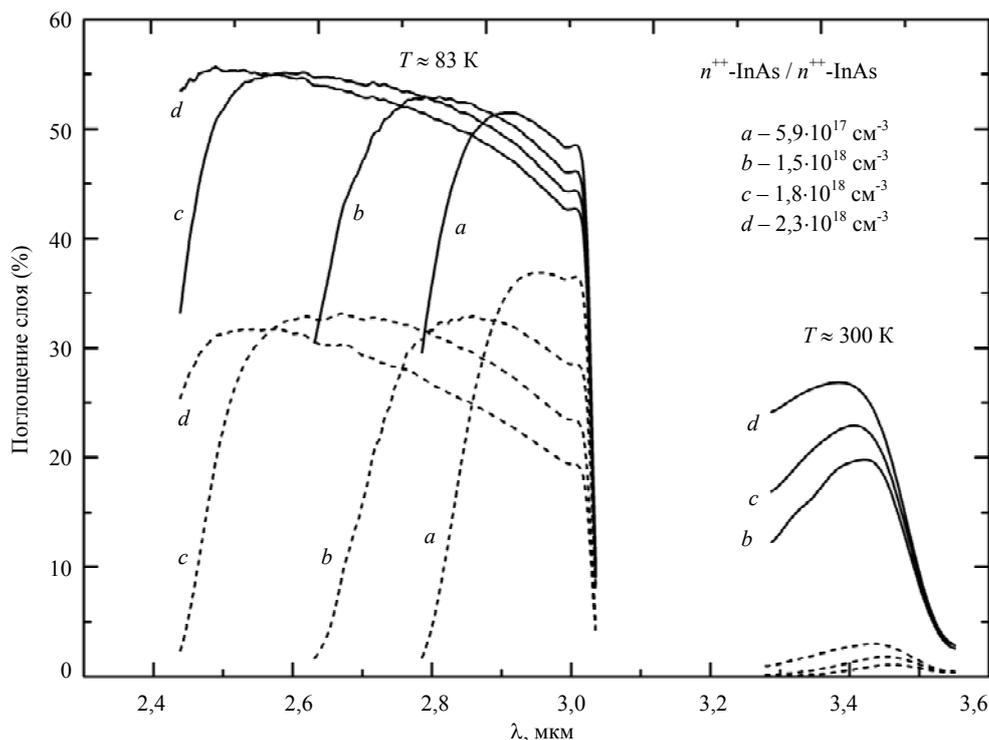


Рис. 3. Спектральные характеристики доли падающего излучения, поглощаемого в эпитаксиальном слое *n*-InAs при облучении со стороны подложки *n*<sup>+</sup>-InAs с различным уровнем легирования. Толщина подложки — 400 мкм (сплошные линии) и 2 мм (пунктир), толщина слоя — 6 мкм, концентрация носителей в слое *n* = 2 · 10<sup>15</sup> см<sup>-3</sup>

В случае тонкой подложки (400 мкм) доля поглощения в эпитаксиальном слое *n*-InAs при температуре 83 К незначительно изменяется при изменении в ней концентрации свободных носителей заряда. Но при этом наблюдается заметное изменение положения коротковолновой границы поглощения в структуре.

При использовании толстой подложки (2 мм) влияние её уровня легирования ожидается более существенно. При 83 К определяющим фактором, снижающим прозрачность подложки в рабочем спектральном диапазоне, является поглощение на свободных носителях заряда. Таким образом, выбор оптимального уровня легирования подложки не только определяет спектральное положение коротковолновой границы, но и позволяет увеличить количество излучения, доходящего до фотопоглощающего слоя.

При температуре 300 К использование толстых подложек нецелесообразно (см. пунктирные кривые в длинноволновой области на рис. 3). Для тонких подложек полученные результаты хорошо соотносятся с независимыми данными по спектральной чувствительности флип-чип фотодиода на основе InAs при комнатной температуре [10].

Снижение пропускания подложки при температуре 300 К в рабочем спектральном диапазоне вызвано уже не поглощением на свободных носителях заряда (как при низкой температуре), а размытием края собственного поглощения *n*<sup>+</sup>-InAs,

смещённого согласно эффекту Бурштейна–Мосса. По этой причине абсолютное значение поглощения в слое растёт с увеличением уровня легирования подложки.

### Заключение

В результате проделанной работы были исследованы структуры *n*-InAs методом фурье-спектроскопии спектров пропускания и отражения, определены показатели поглощения для температур 83 К и 300 К, концентрации легирующей примеси (0,6—3,3) · 10<sup>18</sup> см<sup>-3</sup>. Определены спектральные характеристики поглощения в эпитаксиальном слое *n*-InAs при освещении через подложку в зависимости от температуры и концентрации легирующей примеси в подложке.

### Литература

1. Sotnikova G. Y., Gavrilov G. A., Aleksandrov S. E., et al. // Sensors Journal, IEEE. 2010. V. 10. I. 2. P. 225.
2. Курьшев Г. Л., Ковчавцев А. П., Вайнер Б. Г. и др. // Автометрия. 1998. № 4. С. 5.
3. Базовкин В. М., Гузев А. А., Ковчавцев А. П. и др. // Прикладная физика. 2005. № 2. С. 97.
4. Лу И. И., Базовкин В. М., Валишева Н. А. и др. // Прикладная физика. 2007. № 2. С. 68.
5. Грама Д. М., Петров А. С., Попов С. Д. и др. // Известия СПбГЭТУ ЛЭТИ. 2008. № 7. С. 13.
6. Несмелова И. М. Оптические свойства узкощелевых полупроводников. — Новосибирск: Наука, 1992.

7. Чижов З. В., Радченко Р. А., Таубкин И. И. // ФТП. 1970. Т. 4. № 5. С. 935.

8. Ковалишина Е. А., Нечаев Е. А., Петров А. С. // Физика и химия обработки материалов. 2013. № 1. С. 47.

9. Комков О. С., Фирсов Д. Д., Ковалишина Е. А. и др. // Изв. ВУЗов. Мат. эл. техн. 2014. № 3. В печати.

10. Карандашев С. А., Матвеев Б. А., Ременный М. А. и др. // Изв. ВУЗов. Мат. эл. техн. 2007. № 3. С. 36.

## Spectral absorption characteristics in epitaxial structures based on InAs at temperatures of 80 K and 300 K

*O. S. Komkov<sup>1</sup>, D. D. Firsov<sup>1</sup>, E. A. Kovalishina<sup>2</sup> and A. S. Petrov<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>Saint Petersburg Electrotechnical University "LETI"  
5 Prof. Popov str., St. Petersburg, 197376, Russia  
E-mail: okomkov@yahoo.com

<sup>2</sup>National Research Institute "Electron"  
68 Torez av., St. Petersburg, 194223, Russia

*Received September 10, 2014*

*The structure of autoepitaxial n-InAs layer grown by chloride-hydride gas epitaxy on n<sup>++</sup>-InAs substrates were investigated. Optical absorption spectra for n<sup>++</sup>-InAs at 83 K and 300 K were experimentally determined. A comparison of the spectral dependences of the absorption in the back-illuminated epitaxial layer has been made at various wafer doping levels  $n = (0.6—3.3) \cdot 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ .*

PACS: 78.30.Fs, 81.05.Ea, 07.07.Df, 07.57.-c, 85.60.Gz

*Keywords:* indium arsenide, InAs, absorption coefficient, doping influence, Burstein-Moss effect.

### References

1. G. Y. Sotnikova, G. A. Gavrilov, S. E. Aleksandrov, et al., Sensors Journal, IEEE, **10**, 225 (2010).
2. G. L. Kuryshv, A. P. Kovchavtsev, B. G. Vainer, et al., Optoelectron., Instrum. Data Process., No. 4, 5 (1998).
3. V. M. Bazovkin, A. A. Guzev, A. P. Kovchavtsev, et al., Prikladnaya Fizika, No. 2, 97 (2005).
4. I. I. Li, V. M. Bazovkin, N. A. Valisheva, et al., Prikladnaya Fizika, No. 2, 68 (2007).
5. D. M. Grama, A. S. Petrov, S. D. Popov, et al., Bull. LETI, No. 7, 13 (2008).
6. I. M. Nesmelova, *Optical Features of Narrow-Gap Semiconductors* (Nauka, Novosibirsk, 1992) [in Russian].
7. Z. V. Chizhov, R. A. Radchenko, and I. I. Taubkin, Semiconductors **4**, 935 (1970).
8. E. A. Kovalishina, E. A. Nechaev, and A. S. Petrov, Fizika i Khimiya Obrabotki Materialov, No. 1, 47 (2013).
9. O. S. Komkov, D. D. Firsov, E. A. Kovalishina, et al., Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Mat. El. Tekhn., 2014. No. 3, (2014) [in print].
10. S. A. Karandashev, B. A. Matveev, M. A. Renennyi, et al., Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Mat. El. Tekhn., No. 3, 36 (2007).