

Оптическое поглощение 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 $n = (0,6-3,3) \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$.

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

Optical absorption in epitaxial structures based on InAs at temperatures of 80 K and 300 K

O. S. Komkov, D. D. Firsov, E. A. Kovalishina, A. S. Petrov

Epitaxial structures n -InAs growing on heavily doped substrate n^{++} -InAs by the chloride hydride epitaxy method were investigated. Experimental spectrums of n^{++} -InAs absorption coefficient at 83K and 300K were presented. Comparison of spectral dependences of the absorbed radiation portion in epitaxial layer at irradiation from the substrate side with different doping level $n = (0,6-3,3) \cdot 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ was made.

Keywords: *indium arsenide, InAs, the absorption coefficient, the effect of doping, Burstein-Moss effect*

Введение

Одиночные 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].

Методика и результаты экспериментов

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 характеристик поглощения в эпитаксиальных слоях, освещаемых через подложку, при различных уровнях легирования подложек и температурах.

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

В результате были получены спектральные характеристики показателей поглощения для образцов с различным уровнем легирования при температурах 83 и 300 К. [10]. 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.

На основе полученных спектров поглощения в слое, осаждённых на подложке $n^{++}\text{-InAs}$ с $n=1,8 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$, 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, отражением света на границе «подложка-слой» пренебрегалось. Результаты расчётов для двух различных температур представлены на рис. 1.

В случае тонкой подложки (400 мкм) доля поглощения в эпитаксиальном слое $n\text{-InAs}$ 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 уровня её легирования ожидаемо более существенно. При 83 К определяющим фактором, снижающим прозрачность подложки в спектральном диапазоне пропускания, является поглощение на свободных носителях заряда. Таким образом, выбор оптимального уровня легирования подложки не только определяет положение коротковолновой

границы, но и позволяет увеличить количество излучения, доходящего до эпитаксиального слоя.

При температуре 300 К использование толстых подложек нецелесообразно (пунктирные кривые в длинноволновой области на рис. 1).

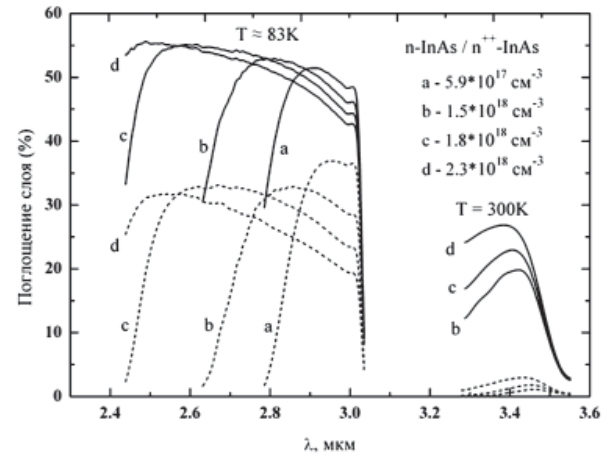


Рис. 1

Спектральные характеристики доли падающего излучения, поглощаемого в эпитаксиальном слое $n\text{-InAs}$ при облучении со стороны подложки $n^{++}\text{-InAs}$ с различным уровнем легирования. Толщина подложки – 400 мкм (сплошные линии) и 2 мм (пунктир), толщина слоя – 6 мкм, концентрация носителей в слое $n=2 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-3}$

Для тонких подложек полученные результаты хорошо соотносятся с независимыми данными по спектральной чувствительности флип-чип фотодиода на основе InAs при комнатной температуре [11].

Снижение пропускания подложки при температуре 300 К вызвано уже не поглощением на свободных носителях заряда (как при низкой температуре), а размытием края собственного поглощения $n^{++}\text{-InAs}$, смещённого согласно эффекту Бурштейна-Мосса. По этой причине абсолютное значение поглощения в слое растёт с увеличением уровня легирования подложки.

Выводы

В результате проделанной работы были исследованы спектры пропускания и отражения эпитаксиальных структур $n\text{-InAs}$ методом Фурье-спектроскопии, определены показатели поглощения для температур 83 К и 300 К, концентрации легирующей примеси $(0,6\text{-}3,3) \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$. Рассчитаны в зависимости от концен-

трации 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., Kapralov A. A., Karandashev S. A., Matveev B. A., Remennyi M. A. // *Sensors Journal*, IEEE, 2010, vol. 10, Issue 2, 225 p.
2. Курышев Г. Л., Ковчавцев А. П., Вайнер Б. Г., Гузев А. А., Базовкин В. М., Строганов А. С., Субботин И. М., Захаров И. М., Ефимов В. М., Постников К. О., Ли И. И., Валишева Н. А., Панова З. В. Медицинский тепловизор на основе матричного ФПУ 128x128, работающий в диапазоне спектра 2.8-3.05 мкм // *Автометрия*. – 1998. – № 4. – С. 5.
3. Базовкин В. М., Гузев А. А., Ковчавцев А. П., Курышев Г. Л., Ларшин А. С., Половинкин В. Г. Тепловизионный микроскоп // *Прикладная физика*. – 2005. – № 2. – С. 97-101.
4. Ли И. И., Базовкин В. М., Валишева Н. А., Гузев А. А., Ефимов В. М., Ковчавцев А. П., Курышев Г. Л., Половинкин В. Г. // *Прикладная физика*. – 2007. – № 2. – С. 68.
5. Грама Д. М., Петров А. С., Попов С. Д., Степанов Р. М., Чилаева Е. В. Автоэпитаксиальные структуры арсенида индия для ИК ФПУ // *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. Химико-механическая полировка подложек автоэпитаксиальных структур арсенида индия // *Физика и химия обработки материалов*. – 2013. – № 1. – С. 47-51.
9. Комков О. С., Фирсов Д. Д., Ковалишина Е. А., Петров А. С. // *Изв. ВУЗов. Мат. эл. техн.* – 2014. – № 3. В печати.
10. Комков О. С., Фирсов Д. Д., Ковалишина Е. А., Петров А. С. // *Труды конференции «23 Международная научно-техническая конференция по фотоэлектронике и приборам ночного видения»*, 28-30 мая 2014 г., Москва. – С. 240.
11. Карандашев С. А., Матвеев Б. А., Ременный М. А., Стусь Н. М., Лунин Л. С., Ратушный В. И., Корюк А. В., Кузнецов В. В. // *Изв. ВУЗов. Мат. эл. техн.* – 2007. – № 3. – С. 36.

References

1. Sotnikova G. Y., Gavrilov G. A., Aleksandrov S. E., Kapralov A. A., Karandashev S. A., Matveev B. A., Remennyi M. A. // *Sensors Journal*, IEEE, 2010, vol. 10, Issue 2, 225 p.
2. Kuryshv G. L., Kovchavtsev A. P., Vainer B. G., Guzev A. A., Bazovkin V. M., Stroganov A. S., Subbotin I. M., Zaharov I. M., Efimov V. M., Postnikov K. O., Li I. I., Valishev N. A., Panova Z. V. Medical imager based on the matrix of 128x128 FPA operating in the spectral range 2.8-3.05 microns. *Avtometriya*, 1998, no. 4, p. 5.
3. Bazovkin V. M., Guzev A. A., Kovchavtsev A. P., Kurishev G. L., Larshein A. S., Polovinkin V. G. Thermal Microscope. *Prikladnaya fizika* [Applied Physics], 2007, no. 2, pp. 97-101.
4. Li I. I., Bazovkin V. M., Valishev N. A., Guzev A. A., Efimov V. M., Kovchavtsev A. P., Kurishev G. L., Polovinkin V. G. *Prikladnaya fizika* [Applied Physics], 2007, no. 2, p. 68.
5. Grama D. M., Petrov A. S., Popov S. D., Stepanov R. M., Chilaev E. V. Autoepitaxial structure of indium arsenide for IR FPA. *Izvestiya ETU LETI* [Proceedings ETU LETI], 2008, no. 7, p. 13.
6. Nesmelova I. M. *Opticheskie svoystva yz-koshchelevykh poluprovodnikov* [The optical properties of narrow-gap semiconductors]. Novosibirsk, Nauka Publ., 1992.
7. Chizhov Z. V., Rodchenko R. A., Taubkin I. I. *Fizika i tekhnika poluprovodnikov* [Semiconductor physics and technology], 1970, V. 4, no. 5, p. 935.
8. Kovalishina E. A., Nechaev E. A., Petrov A. S. Chemical-mechanical polishing substrates autoepitaxial structures of indium arsenide. *Fizika i khimiya obrabotki metallov* [Physics and Chemistry of Materials Processing], 2013, no. 1, pp. 47-51.
9. Komkov O. S., Firsov D. D., Kovalishina E. A., Petrov A. S. *Izvestiya VYZov. Materialy elektronnoy tekhniki* [Proceedings of the universities, Materials of Electronic Technology], 2014, no. 3, In the press.
10. Komkov O. S., Firsov D. D., Kovalishina E. A., Petrov A. S. *Trudy konferentsii «23 Mezhdunarodnaya nauchno-tekhnicheskaya konferentsiya po fotoelektronike i priboram nochnogo videniya»* (Proc. of the conference «23 International Scientific Conference on photonics and Night Vision Devices»). Moscow, 28-30 May 2014, p. 240.
11. Karandashev S. A., Matveev B. A., Remennyi M. A., Stus N. M., Lunin L. S., Ratushnyi V. I., Koryuk A. V., Kuznetsov V. V. *Izvestiya VYZov. Materialy elektronnoy tekhniki* [Proceedings of the universities, Materials of Electronic Technology], 2007, no. 3, p. 36.