

УДК 621.382.2/3

PACS: 42.25.Fx, 81.05.Hd,  
61.05.C-, 78.30.Fs

## Численный анализ спектров рентгеновского дифракционного отражения от сверхрешеток на основе гетеропары AlGaAs/GaAs в зависимости от структурных параметров

Д. В. Ильинов, А. Д. Шабрин, А. Е. Гончаров, Д. А. Пашкеев

*Изучены свойства спектров рентгеновского дифракционного отражения многослойных периодических гетероструктур AlGaAs/GaAs в зависимости от толщины и состава материала слоев и количества периодов. Показано, что количество и интенсивность дополнительных дифракционных максимумов на кривых качания возрастает с увеличением толщины слоев и количества периодов. Состав слоев не влияет на количество максимумов, а изменяет их угловое положение и полуширину. Проводилось сравнение численных расчетов с экспериментальными спектрами, измеренными для гетероструктуры, выращенной методом молекулярно-пучковой эпитаксии и состоящей из 50 периодов, в которых барьер Al<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>As имел состав  $x \approx 26,7\%$  и толщину  $d \approx 51,6$  нм, а квантовая яма GaAs – толщину  $d \approx 4,6$  нм. Установлено хорошее соответствие рассчитанных параметров с технологическими данными и результатами измерения на просвечивающем электронном микроскопе.*

**Ключевые слова:** рентгеновская дифрактометрия, сверхрешётки, многослойная структура, матрица переноса, кривые качания, твердый раствор AlGaAs.

**Ссылка:** Ильинов Д. В., Шабрин А. Д., Гончаров А. Е., Пашкеев Д. А. // Прикладная физика. 2019. № 1. С. 51.  
**Reference:** D. V. Ilinov, A. D. Shabrin, A. E. Goncharov, and D. A. Pashkeev, Prikl. Fiz., No. 1, 51 (2019).

Ильинов Денис Владимирович<sup>1</sup>, аспирант, инженер НИЦ.  
Шабрин Алексей Дмитриевич<sup>1</sup>, инженер 2 кат. НИЦ.  
Гончаров Андрей Евгеньевич<sup>1</sup>, инженер 2 кат. НИЦ.  
Пашкеев Дмитрий Александрович<sup>1,2</sup>, гл. спец., доцент, к.ф.-м.н.  
<sup>1</sup>АО «НПО «Орион».

Россия, 111538, Москва, ул. Косинская, 9.

Тел. 8(499) 374-81-30. E-mail: orion@orion-ir.ru

<sup>2</sup>МИРЭА – Российский технологический университет (РТУ МИРЭА).

Россия, 119454, Москва, просп. Вернадского, 78.

Статья поступила в редакцию 24 января 2019 г.

© Ильинов Д. В., Шабрин А. Д., Гончаров А. Е., Пашкеев Д. А., 2019

### ЛИТЕРАТУРА

1. Бурлаков И. Д., Пономаренко В. П., Филачев А. М., Дегтярев Е. В. // Прикладная физика. 2007. № 2. С. 43.
2. Rogalski A. // Progress in Quantum Electronics. 2003. Vol. 27. No. 2. P. 59.
3. Бурлаков И. Д., Болтарь К. О., Власов П. В., Лопу-

хин А. А., Торопов А. И., Журавлев К. С., Фадеев В. В. // Прикладная физика. 2016. № 3. С. 58.

4. Rogalski A., Martyniuk P., Kopytko M. // Applied Physics Reviews. 2017. Vol. 4. P. 031304.

5. Benyahia D., Kubiszyn L., Michalczewski K., Bogulski J., Keblowski A., Martyniuk P., Piotrowski J., Rogalski A. // Nano-scale Research Letters. 2018. Vol. 13. P. 196.

6. Rogalski A., Kopytko M., Martyniuk P. // Proceedings of SPIE. 2017. Vol. 13. P. 10177.

7. Шабрин А. Д., Гончаров А. Е., Пашкеев Д. А., Ляликов А. В., Егоров А. В. // Прикладная физика. 2017. № 3. С. 101.

8. Нестерец Я. И., Пунегов В. И., Павлов К. М. // Журнал технической физики. 1999. Т. 69. № 2. С. 44.

9. Reyner C. J., Kiefer A. M., Ariyawansa G., Duran J. M., Scheihing J. E. // Crystals. 2016. Vol. 6. P. 150.

10. Старкова М. В., Лихущина Е. В., Свешников С. В., Кацнельсон А. А. // Вестник МГУ. Физика и Астрономия. 1999. № 6. С. 38.

11. Маслова О. А., Захарченко И. Н., Бунина О. А., Юзюк Ю. И., Ortega N., Kumar A., Katiyar R. S. // Физика твердого тела. 2012. Т. 54. № 8. С. 1526.

12. Kladko V. P., Datsenko L. I., Korchovyi A. A., Machulin V. F., Lytvyn P. M., Shalimov A. V., Kuchuk A. V., Kogutyuk P. P. // Semiconductor Physics, Quantum Electronics & Optoelectronics. 2003. Vol. 6. No. 3. P. 392.

PACS: 42.25.Fx, 81.05.Hd, 61.05.C-, 78.30.Fs

## Numerical analysis of the X-ray diffraction spectra of AlGaAs/GaAs superlattices in relation to structural parameters

D. V. Ilinov<sup>1</sup>, A. D. Shabrin<sup>1</sup>, A. E. Goncharov<sup>1</sup>, and D. A. Pashkeev<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Orion R&P Association, JSC  
9 Kosinskaya st., Moscow, 111538, Russia

<sup>2</sup>MIREA – Russian Technological University (RTU MIREA)  
78 Vernadsky av., Moscow, 119454, Russia

Received January 24, 2019

*Properties of X-ray diffraction spectra of multilayer periodical heterostructures AlGaAs/GaAs have been studied in dependence of layers' thickness and composition and the number of periods. It is shown that the number and intensity of additional diffraction maxima (satellites) on rocking curves increases together with increasing layers' thickness and the number of periods. The composition of layers doesn't affect the number of maxima but leads to changing their angular positions and the full width at half maximum values. Numerical calculations have been compared to experimental spectra observed on the heterostructure grown by means of molecular beam epitaxy consisting of 50 periods of  $Al_xGa_{1-x}As$  with the composition  $x \approx 26.7\%$  and the thickness  $d \approx 51.6$  nm and GaAs with the thickness  $d \approx 4.6$  nm. Good conformity between the calculated values and the technological parameters and experimental studies by means of transmission electron microscopy has been established.*

**Keywords:** X-ray diffractometry, superlattices, multilayer structure, transfer matrices, rocking curves, solid solution AlGaAs.

### REFERENCES

1. I. D. Burlakov, V. P. Ponomarenko, A. M. Filachev, and E. V. Degtyarev, Prikl. Fiz., No. 2, 43 (2007).
2. A. Rogalski, Progress in Quantum Electronics **27** (2), 59 (2003).
3. I. D. Burlakov, K. O. Boltar, P. V. Vlasov, A. A. Lopukhin, A. I. Toropov, K. S. Juravlev, and V. V. Fadeev, Prikl. Fiz., No. 3, 58 (2016).
4. A. Rogalski, P. Martyniuk, and M. Kopytko, Applied Physics Reviews **4**, 031304 (2017).
5. D. Benyahia, L. Kubiszyn, K. Michalczewski, J. Bogulski, A. Koblowski, P. Martyniuk, J. Piotrowski, and A. Rogalski, Nanoscale Research Letters, **13**, 196 (2018).
6. A. Rogalski, M. Kopytko, and P. Martyniuk, Proceedings of SPIE **13**, 10177 (2017).
7. A. D. Shabrin, A. E. Goncharov, D. A. Pashkeev, A. V. Lyalikov, and A. V. Egorov, Journal of Communications Technology and Electronics **63** (3), 309 (2018).
8. Ya. I. Nesterec, V. I. Punegov, and K. M. Pavlov, Tech. Phys. **69** (2), 44 (1999).
9. C. J. Reyner, A. M. Kiefer, G. Ariyawansa, J. M. Duran, and J. E. Scheihing, Crystals **6**, 150 (2016).
10. M. V. Starkova, E. V. Lihushina, S. V. Sveshnikova, and A. A. Kacnelson, Vestnik MGU, Fizika i Astronomiya, No. 6, 38 (1999).
11. O. A. Maslova, I. N. Zaharchenko, O. A. Bunina, U. I. Uzun, N. Ortega, A. Kumar, and R. S. Katiyar, Phys. Solid State **54** (8), 1526 (2012).
12. V. P. Kladko, L. I. Datsenko, A. A. Korchovyi, V. F. Machulin, P. M. Lytvyn, A. V. Shalimov, A. V. Kuchuk, and P. P. Kogutyuk, Semiconductor Physics, Quantum Electronics & Optoelectronics **6** (3), 392 (2003).