Расчётная модель оптических характеристик соединения AlGaAs для контроля параметров QWIP-структур

М.С. Кораблин^{1,2}, В.Е. Гончаров^{1,3}, А.В. Никонов²

¹ АО «НПО «Орион», Москва, 111538, ул. Косинская, 9

² МФТИ (НИУ), Долгопрудный, 141701, Институтский пер., 9

³ МИРЭА – Российский технологический университет, Москва, 119454, проспект Вернадского, 78

тел.: +7 (916) 333-4011, эл. почта: ech@li.ru

DOI 10.34077/RCSP2021-120

В технологии изготовления гетероэпитаксиальных структур с множественными квантовыми ямами (QWIP-структур), применяемых для создания матричных фотоприемных устройств среднего и дальнего ИК-диапазона, существенную роль играет прецизионный контроль свойств фоточувствительных материалов [1]. Критически важными контролируемыми характеристиками являются распределение коэффициентов пропускания и отражения структуры по длинам волн излучения. В связи с топологической сложностью QWIP-структур на основе гетеропары AlGaAs/GaAs (количество и наноразмерная толщина эпитаксиальных слоев в активной области) актуальной задачей, стоящей перед разработчиками, является реализация расчётных методов, позволяющих как прогнозировать параметры структур с высокой точностью, так и предоставлять необходимые данные для обеспечения технологического процесса эпитаксиального роста.

В проведенном исследовании разработаны расчётные модели диэлектрической проницаемости, показателя преломления, коэффициента поглощения тройного соединения AlGaAs на широком диапазоне состава соединения, а также бинарных соединений GaAs. Дифференциация по составу проводилась посредством применения кубического приближения метода интерполяции Вегарда. Расчётные значения диэлектрической проницаемости рассчитаны из интегральных уравнений Крамерса-Кронига с учетом переходов через Г-, L-, X-долины и не прямых переходов в зоне Бриллюэна в приближении модели кристаллической структуры сфалерита [2]. Выведены расчётные формулы показателя преломления и коэффициента поглощения исследуемых материалов из действительной и мнимой частей комплексной диэлектрической проницаемости, что позволило построить их графики зависимости как от состава материала, так и от длины волны излучения при различных значениях состава. Проведенная апробация полученных результатов по экспериментальным данным сторонних исследователей [3-4] показала корректность расчётной модели, а также возможность рассчитывать значения оптических характеристик с повышенной точностью.

Проведен расчет температурной зависимости оптических характеристик для соединения AlGaAs. Результаты показали, что при изменении температуры, при которой проводились измерения, от нормальных климатических условий (300 К) до рабочих значений (77 К) значения оптических характеристик отклонялись на величину порядка 1-3% относительно НКУ.

Перспективным продолжением данного теоретического исследования является применение полученных результатов для построения расчётных моделей коэффициентов пропускания и отражения многослойных гетероэпитаксиальных структур на основе гетеропары AlGaAs/GaAs, благодаря чему появится возможность решения как прямой задачи по прогнозированию оптических свойств многослойных гетероэпитаксиальных структур по известной топологии слоистой структуры (количество, порядок, составы и толщины слоев), так и обратной задачи по расчету параметров слоёв, входящих в состав гетероэпитаксиальной структуры, по измеренным спектрам пропускания и отражения. Кроме того, тем самым будет обеспечена возможность разработки экспресс-метода прогнозирования параметров и оптических характеристик не только QWIP-структур, но и альтернативных перспективных структур, таких как сверхрешетки 2 рода и бариодные структуры, используемые в составе высокотемпературных (100-150 К) фотоприемных устройств, являющихся одним из магистральных направлений разработки в современной фотоэлектронике.

Литература

- [1] К.О. Болтарь, И.Д. Бурлаков и др. // Прикладная физика. 2016. № 6. С. 37-41.
- [2] Р.В. Давлетшин, А.В. Никонов и др. // Успехи прикладной физики. 2019. Т. 7. № 6. С. 571-577.
- [3] T. Skauli, P. S. Kuo et al. // J. Appl. Phys. 2003. N 94. P. 6447-6455.
- [4] S. Adachi // J. Appl. Phys. 1989. N 66. P. 6030-6040.