И.А. Александров¹, Т.В. Малин¹, Д.Ю. Протасов¹, В. Ресз², К.С. Журавлев¹

¹ Институт физики полупроводников им. А.В. Ржанова СО РАН, Новосибирск,
630090, пр. ак. Лаврентьева, 13

² Institute for Technical Physics and Materials Science, Budapest,
1121, Konkoly-Thege Miklós út 29-33, Hungary

тел.: +7 (383) 330-4475, факс: +7 (383) 333-2771, эл. почта: alexsandrov@isp.nsc.ru

DOI 10.34077/RCSPP2021-114

Множественные квантовые ямы (МКЯ) GaN/AlN перспективны для применения в качестве базовых материалов для светоизлучающих устройств, работающих в ультрафиолетовой спектральной области [1], высокоскоростных инфракрасных оптических модуляторов [2], оптических переключателей [3] и инфракрасных фотоприемников на внутризонных переходах [4]. В данной работе исследована зависимость энергии максимума полосы излучения МКЯ GaN/AlN от толщин слоев GaN и AlN методами фотолюминесценции (ФЛ) и просвечивающей электронной микроскопии (ПЭМ), проведено сравнение с теоретическими расчетами с использованием 6-зонного кр-приближения.

Структуры с МКЯ GaN/AlN были выращены методом молекулярно-лучевой эпитаксии на (0001) сапфировых подложках. На подложке выращивался буферный слой AlN толщиной около 200 нм при температуре подложки 1000°C, на котором выращивалось от 130 до 260 слоев GaN закрытых слоями AlN. Рост квантовых ям GaN/AlN проводился при потоке аммиака 200 sccm и температуре подложки 830°C.

Полученные структуры исследованы методом просвечивающей электронной микроскопии. Из изображений ПЭМ были определены толщины слоев GaN и AlN. Спектры фотолюминесценции структур с квантовыми ямами GaN/AlN измерялись при возбуждении излучением Nd:YAG лазера с энергией фотона 4.66 эВ. Положение максимума полосы фотолюминесценции МКЯ при комнатной температуре увеличивается от 3.37 эВ до 3.71 эВ при уменьшении толщины слоя GaN от 3.8 нм до 1.8 нм.

Расчет зависимости энергии максимума полосы ФЛ МКЯ от толщины слоя GaN проводился в 6-зонном кр-приближении с учетом деформации и встроенного электрического поля, вызванного спонтанной и пьезоэлектрической поляризацией. Расчет показывает, что при увеличении отношения толщины слоя GaN к толщине слоя AlN наклон зависимости энергии максимума полосы ФЛ МКЯ от толщины слоя GaN уменьшается, что вызвано уменьшением величины встроенного электрического поля. Это связано с перераспределением полей, вызванных спонтанной поляризацией, между слоями GaN и AlN. При уменьшении отношения толщины слоя AlN к толщине слоя GaN происходит увеличение напряженности поля в слое AlN из-за сближения заряженных гетерограниц и, соответственно, уменьшение напряженности поля в слое GaN. Для достаточно узких квантовых ям расчет хорошо описывает эксперимент, а для квантовых ям толщиной более 3 нм наблюдается более высокая энергия максимума полосы фотолюминесценции по сравнению с расчетной. Мы полагаем, что это связано с ненамеренным легированием квантовых ям, приводящим к экранированию встроенного электрического поля в квантовых ямах достаточно большой толщины. Данное предположение подтверждается результатами измерений концентрации носителей заряда с помощью эффекта Холла. По результатам измерений для МКЯ с толщиной слоя GaN 3.8 нм двумерная концентрация электронов при комнатной температуре составляет 10^{11} см⁻² в каждом слое GaN.

Литература

- [1] M. Kneissl, T.-Y. Seong, J. Han, H. Amano // Nat. Photonics 2019, 13 (4), 233-244.
- [2] M. Beeler, E. Trichas, E. Monroy // Semicond. Sci. Technol. 2013, 28 (7), 074022.
- [3] J.M. Dawlaty, F. Rana, W.J. Schaff // Mater. Res. Soc. Symp. Proc. 2005, 831, E7.3.1.
- [4] D. Hofstetter et al. // J. Phys.: Condens. Matter 2009, 21 (17), 174208.