

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Valko, N. Forming a structure of the CoNiFe alloys by X-ray irradiation / N. Valko, A. Kasperovich, T. N. Koltunowicz // Functional Materials Letters. – 2018. – Т. 11, № 2. – 1850044 (4 pages).
2. Valko, N. Electrodeposition of CoNiFe coatings in the presence of the X-rays / N. Valko, A. Kasperovich // Proceedings of international conference. Nanomaterials: Applications and properties. Nap. – 2016. – Vol. 5, № 1. – 01NTF15 (3pp).

УДК 535:621.373.8

ФАКТОР ОПТИЧЕСКОГО ОГРАНИЧЕНИЯ ГЕТЕРОСТРУКТУР С КВАНТОВЫМИ ЯМАМИ InGaN

Н. П. Тарасюк

г. Брест, УО «Брестский государственный технический университет»

Применение гетероструктур InGaN/GaN являются перспективно для создания оптоэлектронных устройств, работающих в ультрафиолетовой-сине-зеленой области спектра.

В данной работе проводится оптимизация по фактору оптического ограничения толщин волноводных слоев различных дизайнов гетероструктур с активной областью, содержащей пять и десять квантовых ям InGaN.

Для моделирования фактора оптического ограничения гетероструктур была использована модель одномерной планарной структуры.

Вычисления фактора оптического ограничения были проведены в приближении плоских волн для ТЕ поляризации излучения [1–3]. Напряженность электрического поля в j -м слое структуры представляется в виде:

$$\varepsilon_y(x, z, t) = \varepsilon_{y,j}(x) \exp[i(\omega t - \beta z)]. \quad (1)$$

Амплитуда напряженности электрического поля $\varepsilon_{y,j}(x)$ удовлетворяет волновому уравнению:

$$\frac{\partial^2 \varepsilon_{y,j}(x)}{\partial x^2} - (\beta^2 - k_0^2 \tilde{n}_j^2) \varepsilon_{y,j}(x) = 0, \quad (2)$$

где β – проекция волнового вектора k_0 на плоскость гетероструктуры,
 \tilde{n}_j – комплексный показатель преломления j -го слоя.

Для нахождения β использовался алгоритм скоростного спуска [1].
Фактор оптического ограничения вычислялся по формуле [4]:

$$\Gamma = \frac{\sum_{i=1}^N \int_{x_{bi}}^{x_{ai}} E_y^2(x) dx}{\int_{-\infty}^{+\infty} E_y^2(x) dx} \quad (3)$$

где интегрирование в числителе происходит по координатам квантовых ям InGaN.

Для расчетов были выбраны 4 дизайна гетероструктур с активной областью из 5 и 10 квантовых ям InGaN. В гетероструктурах дизайна 1 в качестве обкладочных слоев выбирались воздух и $\text{Al}_{0.15}\text{Ga}_{0.85}\text{N}$ и изменялась толщина волноводных слоев GaN. В гетероструктурах дизайна 2 в качестве обкладочных слоев выбирались GaN и GaN и изменялась толщина волноводных слоев $\text{In}_{0.05}\text{Ga}_{0.95}\text{N}$. В гетероструктурах дизайна 3 в качестве обкладочных слоев выбирались $\text{Al}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{N}$ и $\text{Al}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{N}$ и изменялась толщина волноводных слоев GaN. В гетероструктурах дизайна 4 состав аналогичен предыдущей, только волновод формировался из слоев GaN и $\text{In}_{0.05}\text{Ga}_{0.95}\text{N}$. За счет такого волновода улучшается транспорт неравновесных носителей заряда в активную область. При этом толщина слоя $\text{In}_{0.05}\text{Ga}_{0.95}\text{N}$ фиксировалась, а изменялась толщина GaN. Значения показателей преломления, соответствующие значениям ширины запрещенной зоны компонентного состава тройных соединений AlGaN, были взяты из работы [5], значения показателя преломления Al_2O_3 из [6]. Дизайны данных гетероструктур представлены на рисунках 1–4. Аналогичные дизайны выбирались для гетероструктур с 10 квантовыми ямами InGaN.

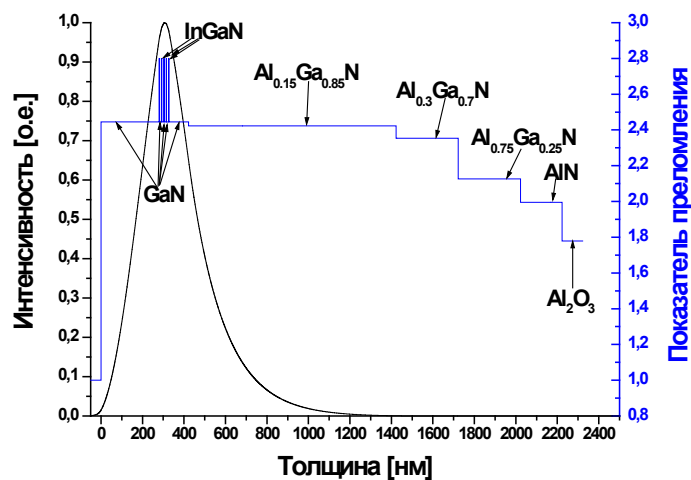


Рисунок 1 – Профили показателя преломления и интенсивности моды нулевого порядка гетероструктуры, содержащей 5 квантовых ям дизайна 1

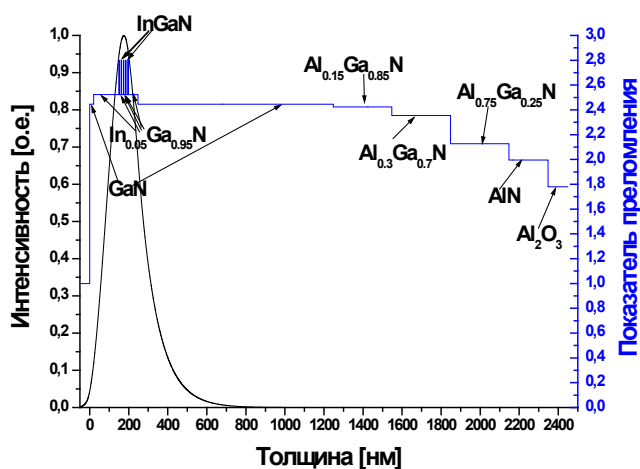


Рисунок 2 – Профили показателя преломления и интенсивности моды нулевого порядка гетероструктуры, содержащей 5 квантовых ям дизайна 2

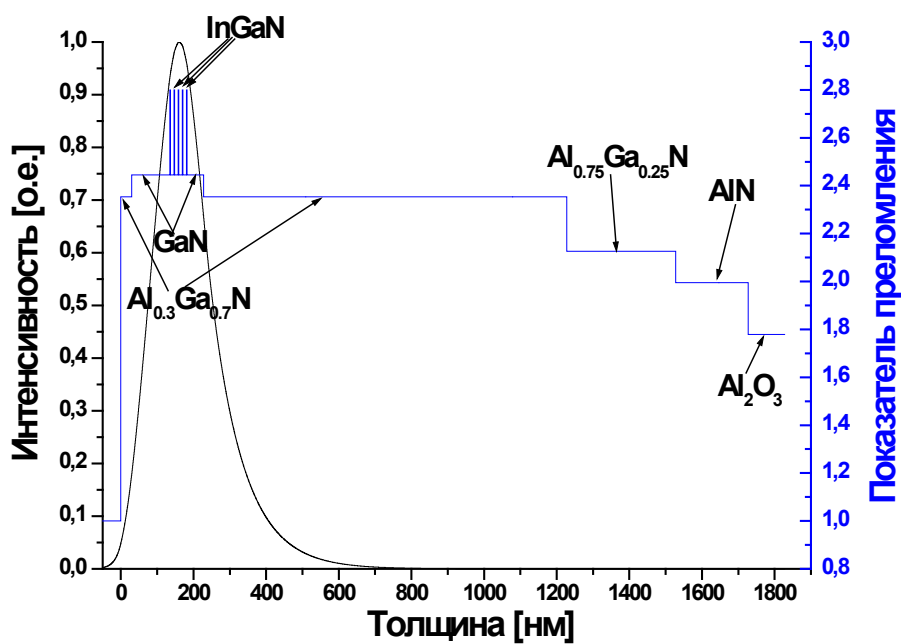


Рисунок 3 – Профили показателя преломления и интенсивности моды нулевого порядка гетероструктуры, содержащей 5 квантовых ям дизайна 3

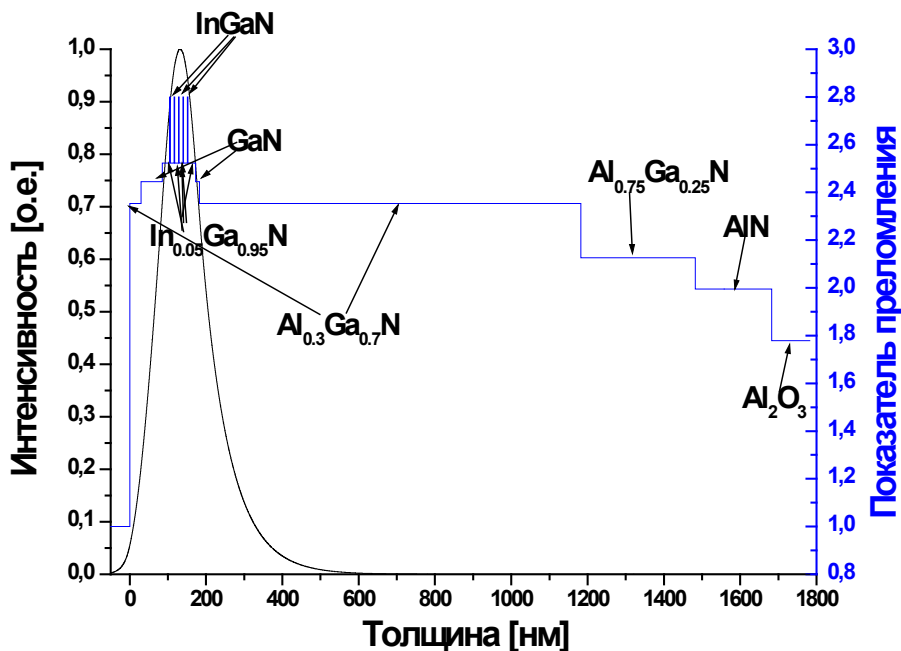


Рисунок 4 – Профили показателя преломления и интенсивности моды нулевого порядка гетероструктуры, содержащей 5 квантовых ям дизайна 4

Для данных структур рассчитывался фактор оптического ограничения в зависимости от длины волны и толщин волноводных слоев. Результаты расчетов приведены на рисунке 5 и в таблицах 1 и 2.

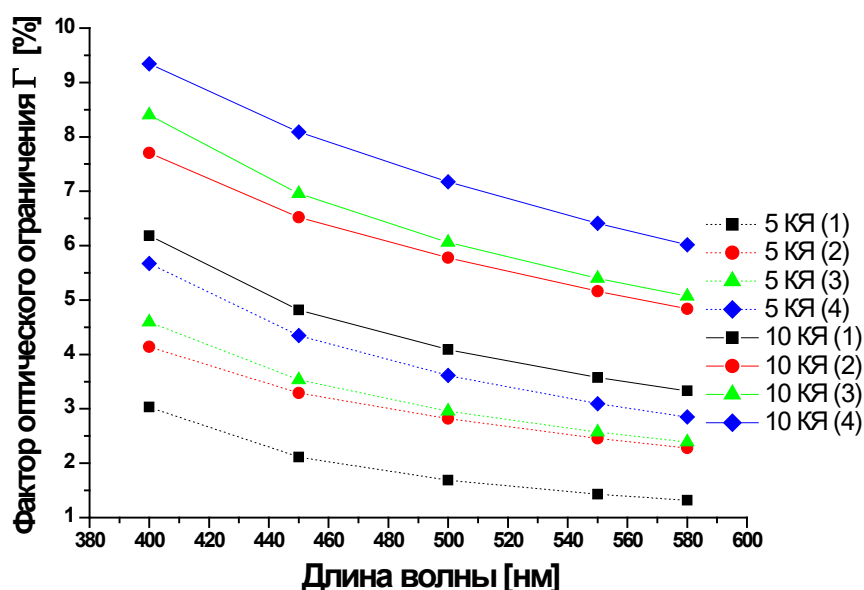


Рисунок 5 – Зависимость фактора оптического ограничения от длины волны гетероструктур с активной областью из 5 и 10 квантовых ям

Таблица 1 – Зависимость толщины верхнего (а) и нижнего (b) волноводных слоев гетероструктур различных дизайнов с активной областью из 5 квантовых ям от длины волны

λ , нм	1		2		3		4	
	a, нм	b, нм	a, нм	b, нм	a, нм	b, нм	a, нм	b, нм
400	170	55	85	35	65	30	20	5
450	280	95	130	50	105	45	55	10
500	375	115	160	60	140	60	90	25
550	450	125	195	75	175	70	120	35
580	490	120	215	85	190	80	135	45

Таблица 2 – Зависимость толщины верхнего (а) и нижнего (b) волноводных слоев гетероструктур различных дизайнов с активной областью из 10 квантовых ям от длины волны

λ , нм	1		2		3		4	
	a, нм	b, нм	a, нм	b, нм	a, нм	b, нм	a, нм	b, нм
400	125	25	60	5	35	5	5	5
450	205	50	90	20	70	15	20	5
500	270	70	115	30	95	25	40	5
550	325	80	145	40	125	35	65	5
580	360	85	160	50	140	40	80	5

Из рисунка 5 и таблиц 1 и 2 видно, что максимальное значение фактора оптического ограничения соответствует гетероструктуре дизайна 4 и в 1,9–2,3 раз больше в случае 5 квантовых ям и в 1,5–1,8 раз больше в случае 10 квантовых ям, чем минимальное – у гетероструктуры дизайна 1. Максимальное значение фактора оптического ограничения при изменении длины волны от 400 до 580 нм для случаев пяти и десяти квантовых ям соответственно изменяется от

5,67 % до 2,85 % и от 9,34 % до 6,01 %. При этом толщина верхнего волноводного слоя для пяти и десяти квантовых ям соответственно изменяются от 20 до 135 нм и от 5 до 80 нм, а нижнего – от 5 до 45 нм и от 5 нм до 55 нм. Длина диффузии неравновесных носителей заряда в слоях на основе AlGaIn примерно равна 100 нм [7], что позволяет использовать данные гетероструктуры для лазеров с оптической накачкой.

Увеличение фактора оптического ограничения позволяет понизить порог генерации оптически накачиваемых лазеров.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Bergmann, M. J. Optical-field calculations for lossy multiple-layer $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}/\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ laser diodes / M. J. Bergmann, and H. C. Casey, Jr. // J. Appl. Phys. – 1998. – Vol. 84, Iss. 3. – P. 1196–1203.
2. Калиткин, Н. Н. Численные методы / Н. Н. Калиткин. – Москва : Наука, 1978. – 512 с.
3. Тарасюк, Н. П. Фактор оптического ограничения и пороговые условия генерации оптически накачиваемых полупроводниковых лазеров на квантоворазмерных структурах InGaIn/GaN, выращенных на кремниевых подложках / Н. П. Тарасюк, А. А. Гладыщук, Е. В. Луценко // Вестник БГТУ. – 2002. – № 5: Физика, математика, химия. – С. 8–13.
4. Адамс, М. Введение в теорию оптических волноводов / М. Адамс. – Москва : Мир, 1984. – 512 с.
5. Optical constants of epitaxial AlGaIn films and their temperature dependence. / D. Brunner [et al.] // J. Appl. Phys. – 1997. – Vol. 82, № 10. – P. 5090–5096.
6. Weber, M. J. Handbook of Optical Materials / M. J. Weber. Boca Raton, Flo. : CRC Press. – 2003. – 499 p.
7. Gonzalez, J. C. Minority-carrier diffusion length in a GaN-based light-emitting diode / J. C. Gonzalez, K. L. Bunker, P. E. Russell // Appl. Phys. Lett. – 2001. – Vol. 79, № 10. – P. 1567–1569.

УДК 37.018.4

ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ УЧАЩИХСЯ КАК СПОСОБ ФОРМИРОВАНИЯ ПОТРЕБНОСТИ ПЕДАГОГА В НЕПРЕРЫВНОМ ОБРАЗОВАНИИ

С. В. ЧУГУНОВ¹, Э. В. ЧУГУНОВА²

¹ г. Брест, УО «Брестский государственный технический университет»

² г. Брест, государственное учреждение образования
«Гимназия № 4 г. Бреста»

Научно-технический прогресс, быстрое внедрение науки во все сферы жизни и производства требуют вовлечения молодых людей в научно-исследовательскую деятельность уже в условиях школьного образования. Выпускник современной школы должен иметь не только широкий теоретический кругозор, но и опыт творческого подхода к решению различного рода задач. Школа является основным местом проявления и реализации творческих способностей детей. Учитель современной школы одной из основных задач в организации учебно-воспитательного процесса считает необходимым стимулировать не только учебно-познавательную деятельность, но и развивать исследовательские начала в любой деятельности