

# МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОЧИХ РЕЖИМОВ СКОРОСТНОГО УРАВНЕНИЯ ДЛЯ СС-VCSEL С ДОПОЛНИТЕЛЬНОЙ ВНЕШНЕЙ ЭМИССИЕЙ В РЕЗОНАТОРЕ

Винницкий национальный технический университет

## **Аннотация**

*В статье исследуются рабочие режимы скоростного уравнения СС-VCSEL с дополнительной внешней эмиссией в резонаторе и проводится анализ полученных результатов.*

**Ключевые слова:** *Скоростное уравнение для СС-VCSEL, реализация матричных операций с помощью VCSEL, управляющий внешний оптический пучок, рабочие режимы скоростного уравнения СС-VCSEL.*

## **Abstract**

*The working conditions of the SS-VCSEL velocity equation with additional external emission in the cavity are investigated and the analysis of the results obtained.*

**Keywords:** *Velocity equation for CC-VCSEL, realization of matrix operations with VCSEL, controlling external optical beam, operating modes of the velocity equation of CC-VCSEL.*

## **Вступление**

Среди ограничивающих факторов развития когерентных и квазикогерентных оптико-электронных и оптических вычислительных средств можно выделить недостаточно развитые средства формирования необходимых параметров оптических пучков, генерируемых полупроводниковыми лазерами. Как правило выбирать приходится между EEL (edge-emitting laser) и вертикально излучающими VCSEL (vertical cavity surface emitting laser) лазерами [1, 2]. Использование VCSEL является наиболее успешным для матричных операций.

В работе моделируется формирование параллельного массива данных в виде фазовосвязанного когерентного поляризованного излучения, реализуемого с помощью массива VCSEL с соединенными полостями (СС-VCSEL). За основу взята модель СС-VCSEL, состоящая из двойной гетероструктуры, имеющей две полости, предложенная в [1, 2] и модифицированная добавлением внешнего оптического пучка, который может быть использован, например, для введения внешних данных.

**Целью работы** является исследование различных рабочих режимов СС-VCSEL.

Уравнения для носителей и фотонов, записанные в компактной форме [1, 2], с добавлением внешней оптической моды имеют вид

$$\frac{\eta_1 I_1}{q} = A_1^S \cdot N_p^S \cdot g_1^S + A_1^L \cdot N_p^L \cdot g_1^L + A_1^{ext} \cdot N_p^{ext} \cdot g_1^{ext} + \frac{N_1}{\tau_e},$$

$$\frac{\eta_2 I_2}{q} = A_2^S \cdot N_p^S \cdot g_2^S + A_2^L \cdot N_p^L \cdot g_2^L + A_2^{ext} \cdot N_p^{ext} \cdot g_2^{ext} + \frac{N_2}{\tau_e},$$

$$N_p^S \cdot \left( A_1^S \cdot g_1^S + A_2^S \cdot g_2^S - \frac{1}{\tau_p^S} \right) = 0,$$

$$N_p^L \cdot \left( A_1^L \cdot g_1^L + A_2^L \cdot g_2^L - \frac{1}{\tau_p^L} \right) = 0,$$

$$N_p^{ext} \cdot \left( A_1^{ext} \cdot g_1^{ext} + A_2^{ext} \cdot g_2^{ext} - \frac{1}{\tau_p^{ext}} \right) = 0,$$

где  $g_i^{S,L,ext} = G_0^{S,L,ext} \cdot \ln \frac{n_i + n_0^{S,L,ext}}{n_{i,tr} + n_0^{S,L,ext}}$ ;  $A_i^{S,L,ext}$  – константы, содержащие моделирующие

параметры девайсов; индексы  $S, L, ext$  — соответствуют модам “S”, “L” и внешней;  $n_i = \frac{N_i}{V_i}$  –

плотность носителей в квантовых ямах,  $n_{i,tr}$  – плотность носителя в  $i$ -й полости,  $n_0^{S,L,ext}$  определяет абсорбцию квантовой ямы на соответствующей длине волны.

Система состоит из 5-и уравнений, имея семь неизвестных: три фотонных числа  $N_p^{S,L,ext}$ , два числа носителей  $N_i$  и два тока смещения  $I_i$ . Установив любые два параметра в качестве «входных параметров» решается система уравнений по отношению к оставшимся 5-ти неизвестным.

Рассмотрим следующие случаи:

А. Точка «двойного порога» – это точка, где обе моды начинают генерировать одновременно:

$$N_p^{S,L} = 0, \text{ «выходные параметры»: } I_1(N_p^{ext}), I_2(N_p^{ext}).$$

В. Пороговое генерирования одной моды, в то время как другая мода остается ниже порога:

$$N_p^{S,L} = 0, \text{ «выходной параметр»: } I_2(I_2, N_p^{ext}).$$

Графики на рис.1 (а) иллюстрируют полученные зависимости для мод “S” и “L”, где внешняя мода  $N_p^{ext} = 1 \cdot 10^1 \dots 5 \cdot 10^5$ .

С. Пороговое генерирования одной моды, если другая мода выше порогового значения:  $N_p^L = 0$  и

$$N_p^S > 0 \text{ или } N_p^S = 0 \text{ и } N_p^L > 0, \text{ «выходной параметр»: } I_2(I_2, N_p^{ext}).$$

Графики на рис.1 (б) иллюстрируют полученные зависимости для мод “S” и “L”, где внешняя мода  $N_p^{ext} = 1 \cdot 10^5 \dots 9 \cdot 10^6$ . Анализируя полученные решения, приходим к выводам, что 1) положение

точки «двойного порога» изменяется в зависимости от  $N_p^{ext}$  линейно, 2) пороговые генерации мод “S” и “L” – линейны.

D. Одна мода выше порогового значения, а другая мода – ниже (полученные уравнения в этом случае являются сугубо нелинейными и решаются численно).

E. Обе моды выше порогового значения. Внутри этого региона рассмотрены варианты:  $N_p^L = const$ ,  $N_p^S > 0$  или  $N_p^S = const$  и  $N_p^L > 0$ , «выходной параметр»:  $I_2(I_2, N_p^{ext}, N_p^L)$  или  $I_2(I_2, N_p^{ext}, N_p^S)$ .

Графики на рис.2 иллюстрируют полученные зависимости для мод “S” и “L” в режимах А, В, С, Е.

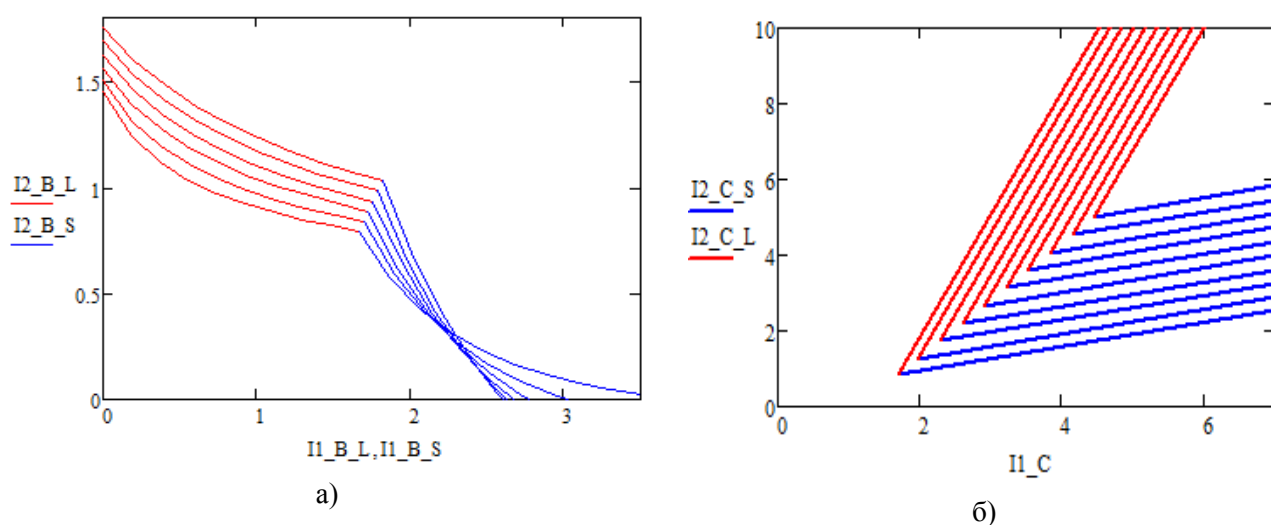


Рис. 1. Исследование рабочих режимов В и С для CC-VSCEL

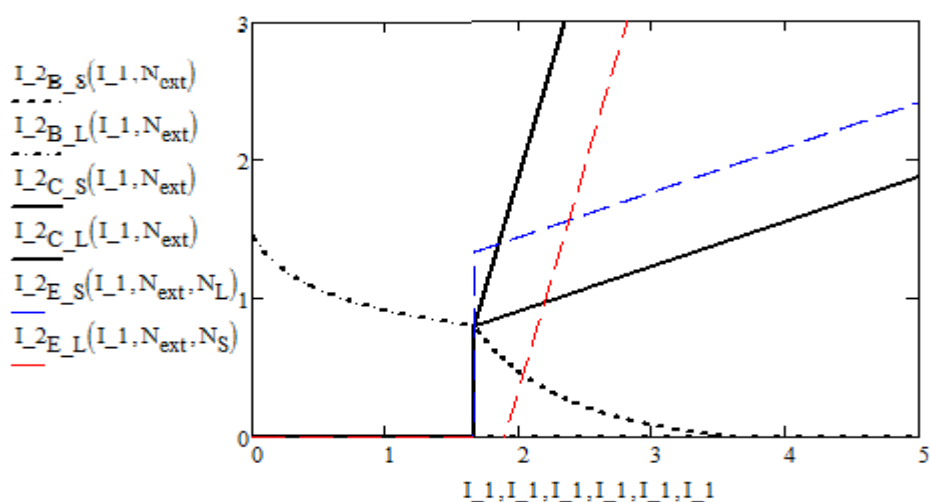


Рис. 2. Рабочие режимы А,В,С,Е для CC-VSCEL при  $N_p^{ext} = 1 \cdot 10^4$ ,  $N_p^S = 1 \cdot 10^6$ ,  $N_p^L = 1 \cdot 10^6$

## Выводы

При исследовании рабочих режимов СС-VCSEL с дополнительной внешней эмиссией в резонаторе показано, что рабочие характеристики в рассмотренных случаях А, В, С, D, Е существенно зависят от введенной в рассмотрение внешней моды. Анализ полученных аналитических решений позволил сделать вывод о характере полученных зависимостей.

## Литература

1. V. Badilita, J.-F. Carlin, M. Brunner, and M. Plegems, “Light-current characterization of dual-wavelength VCSELs”, *Proc. SPIE*, vol. 4649, pp. 87–95, 2002.
2. V. Badilita, J.-F. Carlin, K. Panajotov, and M. Plegems, “Rate-Equation Model for Coupled-Cavity Surface-Emitting Lasers”, accepted for publication in *IEEE Journal of Quantum Electronics*, Dec. 2004.

**Медин Мухаммад Альравшдех** — соискатель кафедры лазерной и оптикоэлектронной техники, Винницкий национальный технический университет, г.Винница, Украина

**Научный руководитель:** Лысенко Геннадий Леонидович – к.т.н., профессор, профессор кафедры лазерной и оптикоэлектронной техники, Винницкий национальный технический университет, Винница, Украина, *E-mail:* [lgl@vntu.edu.ua](mailto:lgl@vntu.edu.ua)

**Madin Mohamed Alrawashdeh** — graduate student, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia

Supervisor: **Lysenko Gennadii L.** – Cand. Sc. (Eng), Professor of Laser and Optic-Electronics, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, *E-mail:* [lgl@vntu.edu.ua](mailto:lgl@vntu.edu.ua)