

СПЕКТРАЛЬНЫЙ МЕТОД ЧИСЛЕННОГО АНАЛИЗА УРАВНЕНИЙ ДИНАМИКИ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ РОС-ЛАЗЕРОВ

В.М. Волков, О.М. Кветко

Для описания динамики полупроводниковых РОС-лазеров с учетом продольных пространственных эффектов традиционно используется система двух связанных дифференциальных гиперболических уравнений первого порядка для комплексных огибающих амплитуд встречных волн E_{\pm} :

$$\frac{1}{v_g} \frac{\partial E_{\pm}}{\partial t} \pm \frac{\partial E_{\pm}}{\partial z} = (G - i\delta)E_{\pm} + i\kappa E_{\mp} + F_{\pm}(z, t) \quad (1)$$

Здесь v_g – групповая скорость волн, G и δ – соответственно параметры, характеризующие усиление и отстройку длины световых волн от периода РОС-структуры, κ – коэффициент связи, обусловленной периодической модуляцией коэффициента преломления волноводного канала, в котором возбуждается лазерная генерация.

Для численного анализа системы (1) используются разностные методы характеристического типа [1], включая методы расщепления [2], один из вариантов которого известен как TLLM метод (transmission-line laser modeling) [3]. Как показано в работе [4], для решения стационарных задач встречного взаимодействия волн вида (1), $\partial E_{\pm}/\partial t \equiv 0$, весьма эффективным представляется использование спектральных методов на основе полиномов Чебышева.

Для построения спектрального метода решения нестационарной задачи (1) мы использовали аппроксимацию пространственных производных посредством спектральной матрицы дифференцирования Чебышева, аналогично [4]. В результате, исходные уравнения в частных производных (1) сводятся к задаче Коши для системы обыкновенных дифференциальных уравнений размерности $2N$, где N – число узлов пространственной сетки. Для численного анализа полученной системы использовался метод Рунге–Кутты 4-го порядка точности.

Анализ эффективности предлагаемого спектрального метода показал его существенные преимущества в обеспечении заданной точности при минимальном количестве узлов пространственной сетки ($N = 15 \div 30$). Для сравнения, разностный метод характеристик требует в десятки раз более подробной сетки ($N = 150 \div 800$) и существенно проигрывает в суммарных вычислительных затратах для достижения сравнимой точности результатов. В качестве тестового примера использована задача расчета частотной зависимости коэффициента отражения РОС структуры, которая вычисляется как Фурье преобразование отраженной волны при входном импульсе в виде δ -функции.



Литература

1. Дриц В. В. *Консервативные разностные схемы в задачах нелинейной оптики. I* // Дифференц. уравнения. 1991. Т. 27. № 7. С. 1153–1161.
2. Kim B. S., Chung Y., Lee J. S. *An efficient split-step time-domain dynamic modeling of DFB/DBR laser diodes* // IEEE J of Quantum Electronics. 2000. V. 36. № 7. С. 787–794.
3. Lowery A. J. *Transmission-line modelling of semiconductor lasers: The transmission-line laser model* // Int. J. of Num. Model.: Electronic Networks, Devices and Fields. 1989. V. 2. № 4. С. 249–265.
4. Буяльская Ю. В., Волков В. М. *Спектральный метод Чебышева для численного моделирования встречного взаимодействия оптических волн в нелинейных средах* // Журн. Белорус. гос. ун-та. Математика. Информатика. 2018. № 3. С. 75–81.