

LaserCAD III - новая образовательная САПР для изучения полупроводниковых лазеров с квантоворазмерными слоями

Сафонов И.М., Петров С.И., Овезгельдыев А.А., Грищенко С.В.

Харьковский национальный университет радиоэлектроники,

Харьков, Украина

E-mail: safonov@kture.kharkov.ua

Abstract. Results of development and application in education of educational CAD system in the area of physical foundations of semiconductor quantum well lasers are presented. Network version and personal version of the CAD system are considered. The ways for modernization and improvement of the software are discussed.

Введение

В условиях современного рынка программного обеспечения даже специализированные программы находят аналоги. Поэтому конкурентоспособность продукта определяется не только спектром решаемых задач, количеством учитываемых входных параметров и точностью используемых методов и моделей. Во внимание берутся многие другие характеристики программы: простота в обращении, комплексность используемых подходов при решении задач, универсальность используемых моделей, стоимость, ресурсоёмкость, возможность связи с другими программами, дополнения имеющейся программы новыми модулями и дизайн. Всё больше развиваются САПР, позволяющие проводить виртуальные эксперименты в режиме реального времени (например, пакеты Electronic Workbench, Ptolemy, Simulink и др.).

В данной работе по вышеуказанным критериям рассматриваются ПК-версия и Web-версия симулятора полупроводниковых лазеров с квантоворазмерными слоями (КРС) LaserCAD III.

Особенности реализации программы-симулятора

В качестве языка программирования выбран Java. Такой выбор в некоторой мере снижает скорость проводимых расчётов, однако имеет и неоспоримые преимущества. Java-программы являются полностью платформонезависимыми. Построение программы в виде модулей – Java-классов позволяет легко изменять интерфейс программы, дополнять её новыми модулями. Java-технологии облегчают процесс программирования, освобождая программиста от решения ряда задач, таких как управление распределением памяти. Наконец, Java-приложения позволяют производить интеграцию программы в Интернет-приложения [1].

Работа с LaserCAD III предельно упрощена [2], так как одной из основных областей применения является образование. Используется единая

панель постановки задач на расчёт, изменяемые входные параметры разбиты на группы. В симуляторе заложена следующая классификация параметров: геометрические параметры, физические параметры, материалы, параметры тока накачки.

Используемые модели являются достаточно универсальными, так как в основе заложена динамическая модель в форме [3], которая на сегодняшний день в симуляторе адаптирована для исследования слоистых КРС, но легко может быть расширена для структур низших размерностей. Заложенные в пакет математические методы решения скоростных уравнений не привязаны к системе определённой размерности и могут быть использованы для произвольной системы скоростных уравнений, кроме того следует отметить что используются быстрые адаптивные методы решения.

Стоимость программы в сравнении с мировыми аналогами низка.

Минимальные системные требования для ПК-версии: Pentium II 433 МГц, 256 Mb RAM, 10 MB дискового пространства, виртуальная Java-машина. А для конечного пользователя Web-версии: Pentium 133 МГц, 64 Mb RAM, 5 Mb дискового пространства, виртуальная Java-машина, браузер Internet Explorer 5.5, для серверной части требования определяются количеством пользователей.

Возможности связи с другими САПР ограничены переносимостью выходных результатов. Формат сохранения результатов расчёта позволяет без трудностей использовать их в широко распространённых пакетах математического моделирования (MatLab, MathCAD и др.). А возможность сохранения результатов в формате PostScript обеспечивает связь с пакетами для обработки рисунков векторной графики.

Комплексный подход при моделировании

Рассмотренные выше достоинства симулятора не являются определяющими. Главными следует назвать возможности комплексного исследования и проведения виртуального эксперимента в режиме реального времени.

Рассмотрим пример использования симулятора, раскрывающий эти преимущества.

Зададимся необходимостью всестороннего исследования лазера с одной квантовой ямой, активная область InP, ширина активной области 5,5 нм, ширина чипа 1 мкм, длина 250 мкм, толщина ограничивающих слоёв 100 нм для применения его в системе оптической связи.

Основными выходными характеристиками, очевидно, будут его скоростные и спектральные свойства, а также пороговые характеристики.

Начнём исследование с рассмотрения модуляционных характеристик.

Симулятор позволяет представлять модуляционные характеристики как в относительных единицах (как показано на рис. 1), так и в абсолютных, как частотная зависимость мощности обусловленной гармонической составляющей тока накачки. Первый способ удобен при сравнении ширины полосы модуляции, частотного положения пиков и их относительной высоты, второй способ позволяет оценить величину выходной мощности.

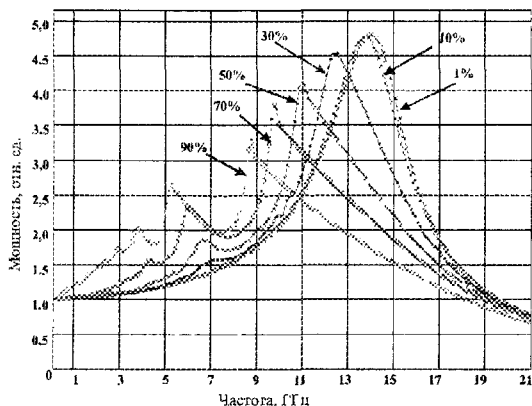


Рис. 1. Влияние глубины модуляции на форму модуляционной характеристики при постоянной составляющей тока накачки 30 мА

Однако рассмотрение модуляционных характеристик носит в основном прикладной характер. Для понимания поведения кривой, особенно если оно не является монотонным, зачастую достаточно сложно быстро найти правильное объяснение не только учащемуся, но и учёному. Кроме того, одни только модуляционные возможности не определяют применимости исследуемой конструкции в полной мере. Единство используемых моделей позволяет рассмотреть динамическое поведение лазера при модуляции токами частот, соответствующих интересующим точкам модуляционной характеристики (рис. 2).

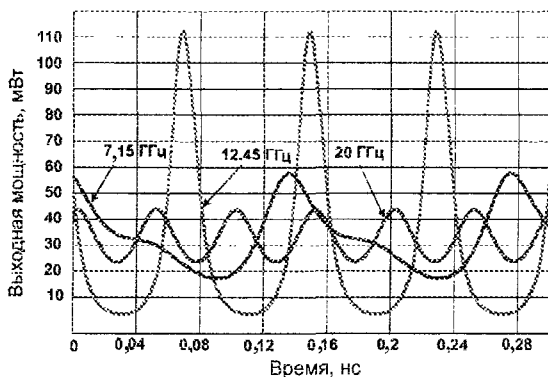


Рис.2. Динамический отклик лазера при гармоническом токе накачке на частотах, соответствующих первому и второму пикам модуляционной характеристики и на частоте 20 ГГц при глубине модуляции 0,3 и постоянной составляющей 30 мА

При таком рассмотрении, следуя от точки к точке можно проследить не только частотное и амплитудное изменение выходного сигнала, но и искажение его формы, особенно при глубокой модуляции.

Ещё более мощным инструментом в исследовании динамического поведения является возможность использования в симуляторе тока произвольной, кусочно-аналитической формы в сочетании с возможностями обработки графиков методами классов на основе классов PtPlot. Например, используя в качестве тока накачки сигнала вида $I(t) = I_c(1 + M \sin(\omega(t) \cdot t + \phi))$ с растущей во времени частотой $\omega(t)$, можно получить характеристику, полностью сочетающую информативность модуляционной характеристики и в тоже время сохраняющую информацию о форме сигнала.

Одной из важных на практике характеристик полупроводникового лазера является его спектр усиления.

Работа симулятора построена таким образом, что спектр усиления может быть исследован для выбранного состояния лазерной системы. Например, рассматривая влияние тока накачки на спектр усиления можно сделать вывод о снижении усиления с ростом тока накачки (рис. 3). Для объяснения формы характеристики спектра усиления в симуляторе возможно рассмотрение плотностей состояний носителей заряда.

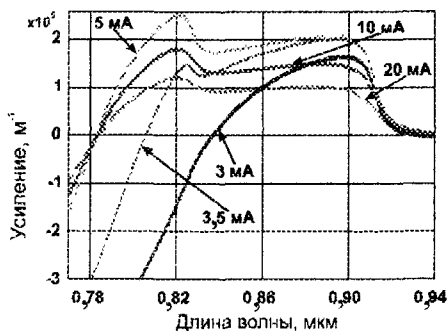


Рис.3. Влияние тока накачки на спектр усиления

Web-версия симулятора

Симулятор LaserCAD III имеет ПК-версию как и большинство САПР, а также Web-версию, позволяющую проводить моделирование КРС-лазеров удалённому пользователю. Эта версия отличается от ПК-версии интерфейсной частью (рис. 4), так как Java-апплеты для снижения ресурсоёмкости системы используются только для представления конечных результатов удалённому пользователю. Все вычисления проводятся на сервере, при этом возможно параллельное использование сервера несколькими пользователями. Такой подход позволяет снизить уровень требований, предъявляемых к аппаратной части конечного пользователя. Кроме того, Web-версия сопровождается лекционным курсом в формате XML, позволяющим осуществлять дистанционное обучение, включающее изучение теоретического материала и экспериментальные исследования при помощи симулятора.

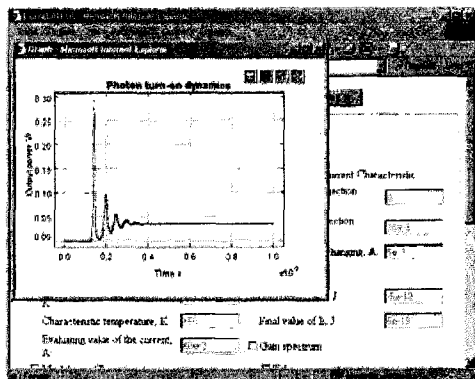


Рис.4. Интерфейс Web-версии LaserCAD III

Заключение

Рассмотренная методология исследования структуры, безусловно, не единственная и далеко не полная, а носит иллюстративный характер. В предложенной схеме, например, не производилось рассмотрение выбора материала, глубины модуляции, геометрических параметров структуры и др., что также может быть осуществлено симулятором LaserCAD III, в рамках данной работы не рассматривалось влияние температуры, и не изучались пороговые характеристики. Не были показаны возможности, связанные с тем, что моделирование каждого последующего временного участка может производиться с учётом состояния лазера, в которое он вышел на предыдущем временном интервале, то есть по сути – возможности проведения виртуального эксперимента, когда во время работы лазера можно изменять некоторые его физические параметры и параметры тока накачки.

Рассмотрение симулятора LaserCAD III позволяет сделать вывод о его конкурентоспособности как пакета для обучения в области физики полупроводниковых лазеров.

Литература

1. The XIIth International Symposium on PHOTONICS AND WEB ENGINEERING "Web-oriented interactive environment for distance education in study of semiconductor lasers" I.N. Keleberda, A.V. Shulika, V.V. Sokol, I.M. Safonov, T.S. Sakalo, P.S. Ivanov, I.A. Sukhoivanov, N.S. Lesna.
2. A.V. Shulika, I.M. Safonov, P.S. Ivanov, I.A. Sukhoivanov "Advanced versatile software tool for comprehensive studying of quantum-well semiconductor lasers" Proc. of Mixed design of integrated circuits and systems
3. Chen Y. and Wartak M. S. "Investigation of carrier transport effects in multiple-quantum-well lasers", *J. Appl. Phys.*, Vol. 78 – № 9, 1995, pp. 5515–5517