

## ПРИМЕНЕНИЕ СИСТЕМ КОМПЬЮТЕРНОЙ АЛГЕБРЫ ПРИ РАСЧЕТЕ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ВОЛНОВЫХ МОД В ПЛАВНО-НЕРЕГУЛЯРНЫХ ИНТЕГРАЛЬНО-ОПТИЧЕСКИХ МНОГОСЛОЙНЫХ СТРУКТУРАХ

Севастьянов А.Л., Тютюнник А.А.

ФГБОУ ВПО РУДН, [nasya.tyutyunnik@gmail.com](mailto:nasya.tyutyunnik@gmail.com), [alsevastyanov@gmail.com](mailto:alsevastyanov@gmail.com)

*Рассматривается задача получения системы аналитических выражений в пакете Maple для расчета направляемых волноводных мод.*

Ключевые слова: математическое моделирование, нерегулярные волноводы, адиабатические волноводные моды.

### Введение

Исследование многослойных плавно-нерегулярных интегрально-оптических волноводов методом адиабатических волноводных мод [1-2] позволяет адекватно учесть трехмерный характер электромагнитного поля распространяющихся волноводных (направляемых) мод. А именно, данный метод описывает явления деполяризации и гибридизации, вызванные нерегулярностями волновода. Метод адиабатических волноводных мод редуцирует уравнения Максвелла к системе обыкновенных дифференциальных уравнений для двух компонент электромагнитного поля и дифференциально-алгебраическим выражениям оставшихся четырех компонент через две искомые.

### Метод решения

В случае, когда многослойный волновод образован нерегулярными слоями из однородных диэлектриков (или полупроводников и метаматериалов), в нулевом приближении асимптотического метода система обыкновенных дифференциальных уравнений сводится к системе двух несвязанных линейных осцилляторов. Связь между компонентами электромагнитного поля, приводящая к явлениям гибридизации и поляризации, формируется четырьмя дифференциально-алгебраическими выражениями от обоих искомых компонент – решений уравнений осцилляторов. Кроме того, учет наклона касательных плоскостей к неплоским поверхностям раздела сред (слоев) к горизонтальной плоскости «лабораторной» системы координат, привязанной к геометрии подложки, приводит к зависимости тангенциальных компонент электрического (магнитного) поля от всех трех его компонент [3].

В каждом из слоев общее решение уравнения линейного осциллятора представляется в виде линейной комбинации фундаментальной системы решений с неопределенными коэффициентами. Подстановка этих комбинаций в граничные условия для тангенциальных компонент электромагнитного поля приводит к однородной системе линейных алгебраических уравнений для неопределенных коэффициентов [4-5].

Описанная общая схема редукции уравнений Максвелла к системе линейных алгебраических уравнений в каждом конкретном случае приводит к необходимости проведения большого объема громоздких аналитических вычислений. С целью автоматизации этих вычислений нами реализована программа в системе компьютерной алгебры Maple [6-7].

Данная программа в качестве входных данных использует диэлектрические проницаемости слоев, их толщины (уравнения ограничивающие эти слои поверхностей), частоту монохроматического электромагнитного излучения, направление распространения излучения и принцип, согласно которому, интенсивность электромагнитного поля на бесконечности стремиться к нулю. С помощью введенных программой дифференциально-алгебраических соотношений получаем поле фазовых замедлений адиабатических волноводных мод и соответствующие двумерные лучи и

одномерные волновые фронты. Это для решения прямой задачи (диагностики) многослойного тонкопленочного интегрально-оптического волновода.

Для решения задачи проектирования многослойного тонкопленочного интегрально-оптического волновода по заданным характеристикам амплитудно-фазового преобразования входными данными вместо толщин слоев служит поле фазового замедления адиабатических волноводных мод. С их помощью строится матрица однородной системы линейных алгебраических уравнений для неопределенных коэффициентов по фундаментальной системе решений описываемых адиабатических волноводных мод. Условие разрешимости системы линейных алгебраических уравнений, записанное в виде равенства нулю детерминанта ее матрицы, задает численное дифференциальное уравнение в частных производных для определения (синтеза) толщин волноводных слоев [8].

### Выводы

В реализованной нами программе реализован алгоритм получения аналитических выражений, соответствующих граничным условиям на границах раздела диэлектрических сред с учетом их наклона в лабораторной системе координат, связанной с подложкой плавно-нерегулярного интегрально-оптического волновода. Полученные в Maple выражения экспортируются в коды Delphi для последующей численной реализации метода адиабатических волноводных мод для решения прямых и обратных задач распространения волноводных мод в плавно-нерегулярных интегрально-оптических волноводных структурах [9-10].

Авторы выражают благодарность Севастьянову Л.А. и Гусеву А.А. за помощь в отладке программы и подготовке рукописи. Работа выполнена при поддержке Гранта РФФИ № 14-01-00628

### Литература

1. Севастьянов Л.А., Егоров А.А. Теоретический анализ волноводного распространения электромагнитных волн в диэлектрических плавно-нерегулярных интегральных структурах // Оптика и спектроскопия, 2008, Т.105, № 4, С. 650-658.
2. Севастьянов Л.А., Егоров А.А., Севастьянов А.Л. Метод адиабатических мод в задачах плавно-нерегулярных открытых волноводящих структур // Ядерная физика. – 2013. Т. 76, № 2. С. 252-268.
3. Егоров А.А., Севастьянов Л.А. Структура мод плавно-нерегулярного интегрально-оптического четырехслойного трехмерного волновода // Квантовая Электроника, 2009, Т.39, №6, с.566-574.
4. Егоров А.А., Ловецкий К.П., Севастьянов А.Л., Севастьянов Л.А., "Моделирование направляемых (собственных) мод и синтез тонкопленочной обобщенной волноводной линзы Лüneберга в нулевом векторном приближении", Квант. электроника, 2010, 40 (9), 830–836.
5. Егоров А.А., Севастьянов А.Л., Айрян Э.А., Ловецкий К.П., Севастьянов Л.А. Адиабатические моды плавно-нерегулярного оптического волновода: нулевое приближение векторной теории // Математическое моделирование, 2010. – Т.22, №8. – С. 42-54.
6. Севастьянов А.Л., Тютюнник А.А. Редукция уравнений Максвелла к системе обыкновенных дифференциальных уравнений на основе метода адиабатических волноводных мод // Методы математической физики, МИФИ-2014.
7. Севастьянов А.Л., Тютюнник А.А. Редукция уравнений Максвелла к системе обыкновенных дифференциальных уравнений для направляемых мод интегрально-оптических волноводов в среде MAPLE //МКО- Дубна

8. Севастьянов А. Л., Кулябов Д. С., Севастьянов Л. А. Моделирование методом адиабатических волноводных мод амплитудно-фазового преобразования электромагнитного поля тонкоплёночной обобщённой волноводной линзой Люнеберга // Вестник РУДН, серия «Математика. Информатика. Физика». - No 4, 2013. - с. 132-142.
9. Егоров А.А., Ловецкий К.П., Севастьянов А.Л., Севастьянов Л.А. Тонкоплёночная волноводная линза Люнеберга: от постановки проблемы до ее решения. Теория и математическое моделирование адиабатических мод // Труды конференции «ARMIMP-2012, Суздаль, 18-19 сентября». -М.: РНТОРЭС, с. 186-190.
10. Егоров А.А., Севастьянов А.Л., Айрян Э.А., Ловецкий К.П., Севастьянов Л.А. Расчет и проектирование тонкоплёночной обобщённой волноводной линзы Люнеберга методом адиабатических мод // Вестник Тверского государственного университета. Серия Прикладная математика, 2012. Выпуск 3(26), Стр. 35-47.

## USING OF COMPUTER ALGEBRA SYSTEMS IN CALCULATION OF WAVEGUIDE PROPAGATION IN SMOOTHLY-IRREGULAR INTEGRATED-OPTICAL MULTILAYER STRUCTURES

*Sevastyanov A.L., Tyutyunnik A.A.*

*PFUR, nastya.tyutyunnik@gmail.com, alsevastyanov@gmail.com*

*We consider the task of obtaining of analytical expression system, which is used for calculation of guided modes, by means of Maple.*

Key words: Mathematical Modelling, irregular waveguides, adiabatic waveguide modes.