

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение  
высшего профессионального образования  
«Томский государственный университет систем управления и  
радиоэлектроники»

Кафедра электронных приборов

Интегральная и волноводная фотоника

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ДИСПЕРСИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОЛОСКОВЫХ ВОЛНОВОДОВ**

Методические указания к лабораторной работе  
для студентов направления «Фотоника и оптоинформатика»

2012

**Башкиров, А.И., Литвинов Р.В.**

Исследование дисперсионных характеристик полосковых волноводов = Интегральная и волноводная фотоника: методические указания к лабораторной работе для студентов направления «Фотоника и оптоинформатика» / А.А. Башкиров, Р.В. Литвинов; Министерство образования и науки Российской Федерации, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, Кафедра электронных приборов. - Томск: ТУСУР, 2012. - 11 с.

***Цель работы:*** Рассчитать эффективные показатели преломления гребенчатого полоскового волновода.

Пособие предназначено для студентов очной формы, обучающихся по направлению «Фотоника и оптоинформатика» по дисциплине «Интегральная и волноводная фотоника».

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
«Томский государственный университет систем управления и  
радиоэлектроники»

Кафедра электронных приборов

УТВЕРЖДАЮ

Зав. кафедрой ЭП

\_\_\_\_\_ С.М. Шандаров

«\_\_» \_\_\_\_\_ 2012 г.

Интегральная и волноводная фотоника

## ИССЛЕДОВАНИЕ ДИСПЕРСИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОЛОСКОВЫХ ВОЛНОВОДОВ

Методические указания к лабораторной работе  
для студентов направления «Фотоника и оптоинформатика»

РАЗРАБОТЧИКИ

Доцент каф. ЭП

\_\_\_\_\_ А.И. Башкиров

\_\_\_\_\_ 2012 г

Доцент каф.ЭП

\_\_\_\_\_ Р.В. Литвинов

2012

## Содержание

1 Введение .....	5
2 Теоретическая часть .....	5
2.1 Основные расчетные формулы	5
2.2 Контрольные вопросы	8
3. Экспериментальная часть	9
3.1 Задание	9
3.2 Методические указания	9
3.3 Содержание отчета	9
Список литературы .....	10

## 1 Введение

**Цель работы:** Рассчитать эффективные показатели преломления гребенчатого полоскового волновода.

Основные типы трехмерных волноводных структур представлены на рис.2.1. В интегральных оптических схемах полосковые волноводы используются в основном как линии связи.

К гребенчатому типу относятся канальные волноводы изображенные на рис. 2.1, а), б), е), и). Значительный скачок показателя преломления  $\Delta n$  в поперечном направлении для волноводов, изображенных на рис. 2.1 а) и б) приводит к многомодовому режиму их работы. Полосковые волноводы показанные на рис. 2.1, з)-и) имеют в своем составе участки со значительным поглощением на частоте световой волны. В этих волноводах легко реализуется одномодовый и маломодовый режим работы. Погруженные канальные структуры (рис. 2.1, в)-д)) характеризуются промежуточными свойствами по сравнению с указанными выше структурами. Число распространяющихся мод в них определяется размером канала и разностью показателей преломления материалов, образующих волновод.

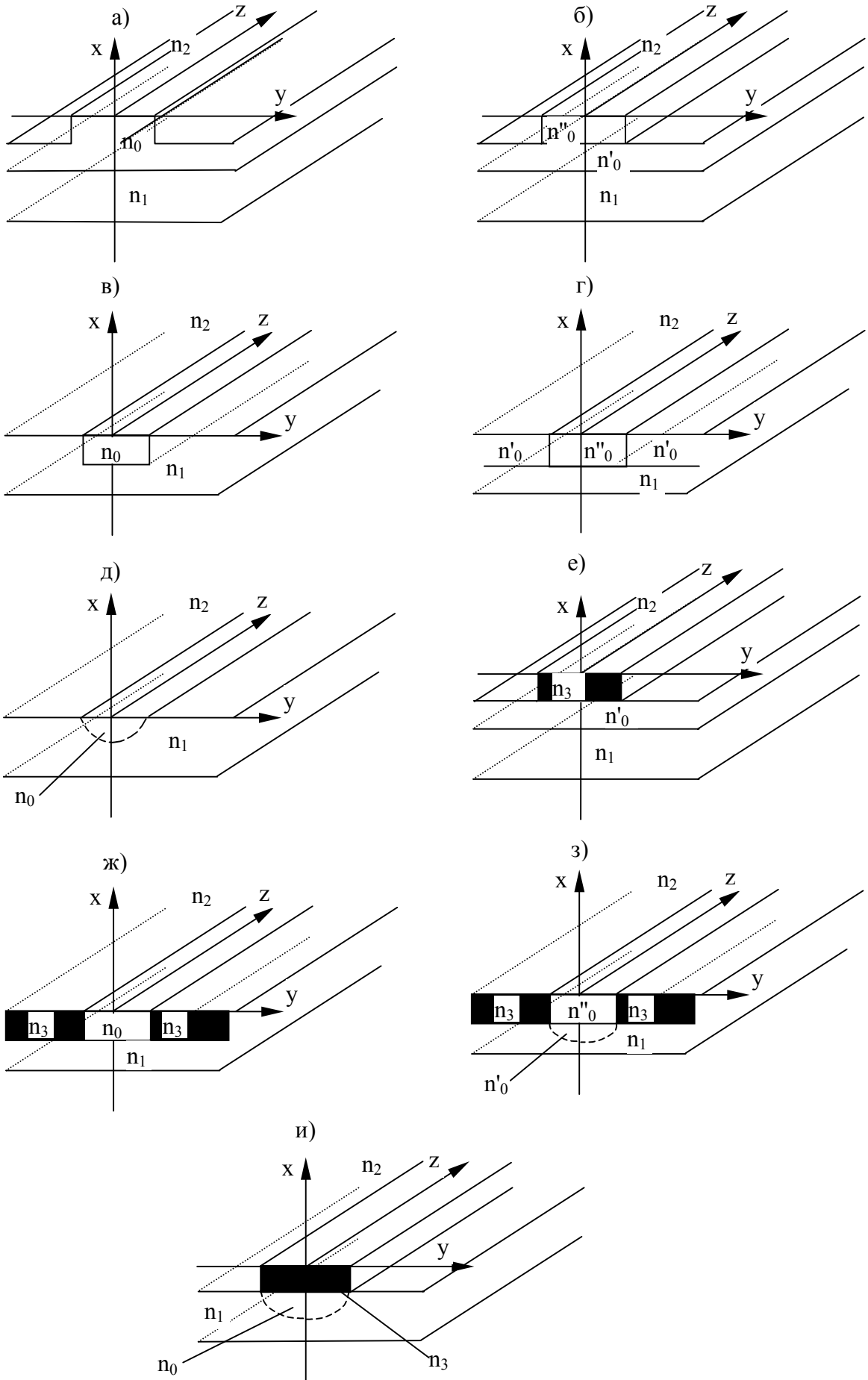
Наиболее перспективными для интегральной оптики являются различные виды полосковых и погруженных канальных волноводов. Основные их достоинства связаны с широкими технологическими и конструктивными возможностями создания эффективных волноводных структур на их основе. К достоинствам полосковых волноводов следует отнести слабую чувствительность к нарушениям границ диэлектрической полоски и увеличение допуска на ее формат в одномодовом режиме. В интегральных оптических схемах ширина может достигать десяти и более микрометров, что в значительной степени упрощает операцию стыковки волноводов.

Получение точных аналитических решений уравнений Максвелла для большинства полосковых структур невозможно. Поэтому для расчета дисперсионных характеристик и анализа распространения волноводных мод широко применяют различные приближенные методы. В данной работе дисперсионные характеристики гребенчатого волновода, относящегося к типу изображенному на рис. 2.1, а), рассчитываются методом эффективного показателя преломления.

## 2 Теоретическая часть

### 2.1 Основные расчетные формулы

Рассмотрим полосковую структуру изображенную на рис. 2.1.а). Как правило, размеры областей с показателем преломления  $n_0$  слева и справа от полоски вдоль оси  $Y$  значительно превышают длину волны светового поля  $\lambda_0$ , распространяющегося вдоль оси  $Z$ .



Поэтому эти области можно считать пленочными планарными волноводами толщиной  $h'$  (рис. 2.2) со спектром эффективных показателей преломления  $n_p^*$ , где  $p = 0, 1, 2, 3 \dots$  - определяет номер моды. Спектр эффективных показателей преломления находится при решении дисперсионного уравнения:

$$\frac{2\pi}{\lambda_0} h' = \frac{1}{\sqrt{n_0^2 - n'^{*2}}} \left\{ p\pi + \operatorname{arctg} \left[ \left( \frac{n_0}{n_1} \right)^\chi \sqrt{\frac{n'^{*2} - n_1^2}{n_0^2 - n'^{*2}}} \right] + \operatorname{arctg} \left[ \left( \frac{n_0}{n_2} \right)^\chi \sqrt{\frac{n'^{*2} - n_2^2}{n_0^2 - n'^{*2}}} \right] \right\}, \quad (2.1)$$

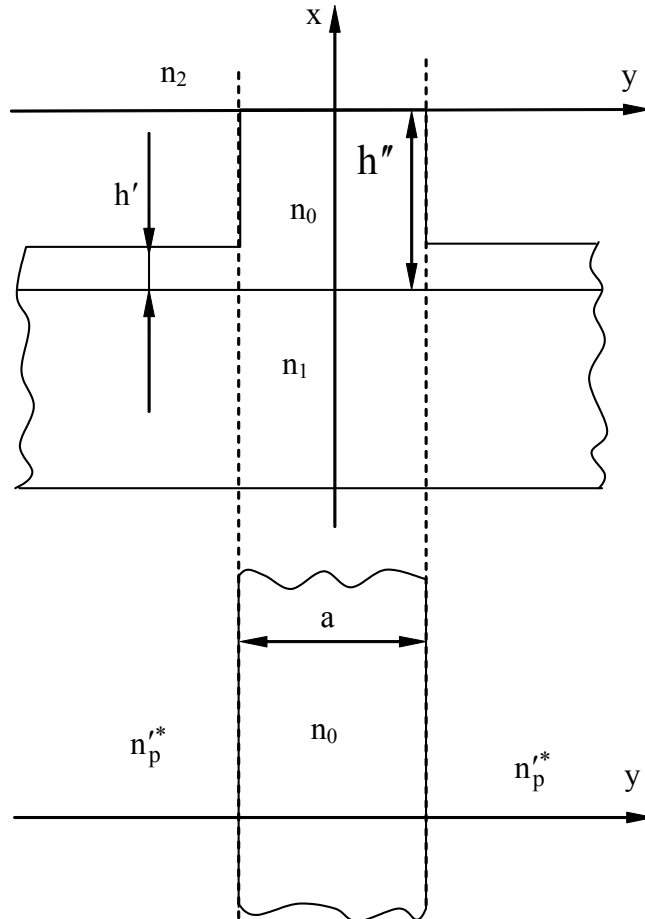


Рисунок 2.2 - Схема метода эффективного показателя преломления:  $n_0$ ,  $n_1$  и  $n_2$  - показатели преломления волноводного слоя, подложки и покровной среды, соответственно,  $\chi = 0$  для ТЕ-мод и  $\chi = 2$  для ТЕ-мод

Толщина пленки в области гребня  $h''$  значительно больше, чем  $h'$ . Спектр эффективных показателей преломления для области гребня вначале также находим, решая уравнение (2.1), заменяя в нем  $h'$  на  $h''$ . Тогда для планарного волновода толщиной  $h''$  при прочих неизменных параметрах значения эффективных показателей преломления  $n_p^*$  будут больше значений  $n_p^*$  с тем же номером  $p$ , поэтому распространение света в основном ограничено областью гребня. Это дает нам право считать

область гребня симметричным планарным волноводом толщиной  $a$  с поперечной координатой вдоль оси  $Y$  (рис. 2.2). Покровной средой и подложкой для этого волновода служат области с показателем преломления  $n_p^*$ , показатель преломления пленки имеет значение  $n_p^{**}$ . Таким образом, этот планарный волновод является симметричным. Показатели преломления волноводных мод такого волновода можно рассчитать, используя дисперсионное уравнение (2.1), если в нем вместо величин  $n_1$  и  $n_2$  подставить заранее рассчитанные значения  $n_p^*$ , вместо  $h'$  -  $a$ , вместо номера  $p$  другой текущий номер  $s=0, 1, 2, 3, \dots$

$$\frac{2\pi}{\lambda_0} a = \frac{1}{\sqrt{n_0^2 - n^{**2}}} \left\{ s\pi + 2 \arctg \left[ \left( \frac{n_0}{n_p^*} \right)^\chi \sqrt{\frac{n^{**2} - n_p^{*2}}{n_0^2 - n^{**2}}} \right] \right\}. \quad (2.2)$$

Численные значения решений последнего уравнения принимают за значения эффективных показателей преломления волноводных мод гребенчатого полоскового волновода  $n_{p,s}^*$ . Эти значения отвечают двум независимым индексам  $p$  и  $s$ . Эти индексы указывают число нулей в распределении амплитуд волноводных мод  $\vec{E}(x,y)$  по осям  $Ox$  и  $Oy$ , соответственно. Расчет  $\vec{E}(x,y)$  показывает, что в полосковых волноводах существует два набора мод. Один из них обозначается через  $E_{p,s}^x$  (индекс  $\chi=0$ ), и поле такой моды имеет две *сильные* компоненты -  $E_x$  и  $H_y$ . Составляющие  $E_y$ ,  $E_z$  и  $H_x$ ,  $H_z$  малы по величине. Второй набор имеет обозначения  $E_{p,s}^y$  (индекс  $\chi=2$ ), *сильные* компоненты здесь  $E_y$  и  $H_x$ , а слабые  $E_x$ ,  $E_z$  и  $H_y$ ,  $H_z$ .

## 2.2 Контрольные вопросы

1. Пояснить суть метода эффективного показателя преломления для расчета дисперсионных параметров полоскового волновода.
2. Каковы основные ограничения, накладываемые на использование этого метода.
3. Проанализировать условия отсечки для волноводов данного типа. Чем они отличаются от условий отсечки в планарных пленочных волноводах?
4. Какова структура волноводных в полосковых волноводах? Чем они отличаются от мод планарного волновода.
5. Нарисовать приблизительный вид распределения светового поля на торце волновода для  $E_{0,1}^x$ ,  $E_{1,0}^x$  и  $E_{1,1}^x$  мод. Сделать то же самое для  $E_{p,s}^y$  мод.



### 3. Экспериментальная часть

#### 3.1 Задание

1. Согласовать с преподавателем основные параметры необходимые для расчета показателей преломления волноводных мод гребенчатого полоскового волновода.

2. Рассчитать дисперсионные зависимости  $n_{p,s}^*(h', a)$ .

3. Определить размеры волновода, соответствующие одномодовому и двухмодовому режиму работы.

Данные по Полоску по интегральной оптике:  $h_1 =$  от 1 до 2 мкм с шагом 0,1;  $n_0 = 2,27$ ;  $n_1 = 2,202$ ;  $n_2 = 1$ ;  $\delta = 0,63$  мкм;  $a =$  от 3 до 5 мкм с шагом 0,2.

#### 3.2 Методические указания

Для расчета дисперсионных зависимостей можно использовать различные версии пакета вычислительных программ MATHCAD. Решение дисперсионных уравнений может быть осуществлено при помощи встроенной функции *root* или вычислительного блока *Given*. В обоих случаях необходимо задавать начальное приближение эффективного показателя преломления, которое следует выбирать исходя из возможных значений эффективного показателя преломления. Процедура использования функции *root* и блока *Given* не имеет единого алгоритма и выбирается самостоятельно. В случае, если численное решение не найдено (MATHCAD вернул сообщение *not converging*, *overflow* и т. д.), то необходимо изменить начальное приближение или упростить дисперсионное уравнение так, чтобы в процессе вычислений не появлялись операции с очень большими числами. В последних версиях MATHCAD реализована возможность программирования того или иного численного метода.

Результат расчета представить в виде семейства зависимостей  $n_{p,s}^*(a/\lambda_0)$  построенных для различных значений  $h'$  и в виде поверхностного графика  $n_{p,s}^*(h'/\lambda_0, a/\lambda_0)$ .

#### 3.3 Содержание отчета

- 1 Титульный лист.
- 2 Цель работы.
- 3 Схема эксперимента.
- 4 Результаты эксперимента и их анализ.
- 5 Ответы на контрольные вопросы.
- 6 Выводы.

## Список литературы

1. Информационная оптика / Н.Н.Евтихеев, О.А.Евтихеева, И.Н.Компанец, А.Е.Краснов, Ю.Н.Кульчин, С.Б.Одинокоев, Б.С.Ринкевичус.– М.: МЭИ, 2000. – 112 с.
2. Никонов Н.В., Шандаров С.М. Волноводная фотоника: Учебное пособие. - СПб.: СПбГУ ИТМО, 2008. - 142 с. <http://window.edu.ru/resource/410/73410/files/nikonov1.pdf>.
3. Шандаров В.М. Волоконно-оптические устройства технологического назначения: учебное пособие. - Томск: ТУСУР, 2012. - 198 с. (Научно - образовательный портал ТУСУРа, <http://edu.tusur.ru>).
4. Информационная оптика: учебное пособие для вузов / Н.Н.Евтихеев, О.А.Евтихеева, И.Н.Компанец, А.Е.Краснов, Ю.Н.Кульчин, С.Б.Одинокоев, Б.С.Ринкевичус - М.: Издательство МЭИ, 2000. - 612 с.
5. Семенов А.С., Смирнов В.Л., Шмалько А.В. Интегральная оптика для систем передачи и обработки информации. – М.: Радио и связь, 1990.– 225 с.
6. Шангина Л.И. Квантовая и оптическая электроника: Учебное методическое пособие по практическим занятиям. - Томск: ТУСУР, 2012.- 228 с. (Научно - образовательный портал ТУСУРа, <http://edu.tusur.ru>).
7. Шандаров В.М. Волоконно-оптические устройства технологического назначения: Учебно-методическое пособие по практическим занятиям. – Томск: ТУСУР, 2012. – 31 с. (Научно - образовательный портал ТУСУРа, <http://edu.tusur.ru>).
8. . Волноводная оптоэлектроника / под ред. Т. Тамира – М.: Мир, 1991. – 575 с.

Учебное пособие

Башкиров А.И., Литвинов Р.В.

Исследование дисперсионных характеристик полосковых волноводов

Методические указания к лабораторной работе  
по дисциплине «Интегральная и волноводная фотоника»

Усл. печ. л. \_\_\_\_\_ Препринт  
Томский государственный университет  
систем управления и радиоэлектроники  
634050, г.Томск, пр.Ленина, 40