



**ОПИСАНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК, УСТАНОВКА
И ЭКСПЛУАТАЦИЯ**

Модульного программного обеспечения для моделирования и проектирования
фотонных интегральных схем Difra

УСЛОВИЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

Права на данный документ в полном объеме принадлежат ООО «Дифра Лаб» и защищены законодательством Российской Федерации об авторском праве и международными договорами.

Использование данного документа (как полностью, так и в части) в какой-либо форме, включая, но не ограничиваясь этим: воспроизведение, модификация (в том числе перевод на другой язык), распространение (в том числе в переводе), копирование в любой форме, передача в любой форме третьим лицам, – возможны только с предварительного письменного разрешения ООО «Дифра Лаб».

За незаконное использование данного документа (как полностью, так и в части), включая его копирование и распространение, нарушитель несет гражданскую, административную или уголовную ответственность в соответствии с действующим законодательством.

ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ

В настоящем документе применяют следующие обозначения и сокращения:

| | |
|--------------|---|
| AWG | – arrayed waveguide grating – дифракционная решетка на основе массива волноводов |
| BPM | – beam propagation method – метод распространяющегося пучка |
| FDFD | – finite difference frequency domain – метод конечных разностей в частотной области |
| FDTD | – finite difference time domain – метод конечных разностей во временной области |
| MMI | – multi-mode interference element – многомодовый интерференционный делитель |
| PDK | – process design kit – библиотеки проектирования |
| Лицензия MIT | – лицензия открытого и свободного программного обеспечения, разработанная Массачусетским технологическим институтом |
| ОС | – операционная система |
| ПО | – программное обеспечение |
| ПП | – показатель преломления |
| ФИС | – фотонные интегральные схемы |

ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

В настоящем документе применены следующие термины с соответствующими определениями:

- | | |
|-----------------------------|---|
| Настольное приложение | – или десктопное приложение (англ. desktop application) – это программа, устанавливаемая непосредственно на компьютер и работающая под управлением операционной системы, такой как Windows или Linux. В отличие от веб-приложения, которому для работы необходим постоянный доступ к интернету, десктопное приложение зачастую функционирует автономно. |
| Фотонная интегральная схема | – или интегрально-оптическая схема – это чип, содержащий два и более оптических и/или оптоэлектронных элемента, которые вместе образуют комплексную оптическую систему, выполняющую заданную функцию или набор функций. Элементы фотонной интегральной схемы могут осуществлять генерацию, перенаправление, изменение характеристик и детектирование оптических сигналов. |

СОДЕРЖАНИЕ

| | |
|---|----|
| Обозначения и сокращения | 2 |
| Термины и определения..... | 4 |
| 1. Программное обеспечение Difra | 6 |
| 1.1. Назначение | 6 |
| 1.2. Требования к подготовке пользователя | 6 |
| 2. Выполнение программы | 7 |
| 2.1. Установка ПО Difra | 7 |
| 2.2. Работа с ПО Difra | 11 |
| 2.3. Работа с тестовой версией ПО Difra на сервере JupyterLab | 13 |
| 2.4. Состав и функциональные характеристики ПО Difra..... | 14 |
| 2.4.1. Модовые решатели в ПО Difra для определения характеристик оптического излучения в волноводах | 17 |
| 2.4.2. Модуль Difra BPM для моделирования распространения оптического излучения по топологии интегрально-оптических элементов методом распространяющегося пучка ... | 18 |
| 2.4.3. Модуль Difra AWG для моделирования распространения оптического излучения | 18 |
| 2.4.4. Сведения о дополнительных программах | 19 |
| 3. Программные модули difra и их применение для моделирования базовых элементов ФИС | 21 |
| 4. Классы и функции, применяемые для моделирования в ПО Difra..... | 22 |
| 5. Завершение программы | 23 |
| Заключительные сведения | 24 |

1. ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ DIFRA

1.1. Назначение

Модульное программное обеспечение Difra является настольным (десктопным) приложением для моделирования и разработки элементов ФИС. Программное обеспечение Difra представляет собой подключаемый Python пакет с набором модулей. В виде модулей реализованы методы моделирования характеристик электромагнитного поля в поперечном сечении волновода, делителей и сумматоров оптического излучения, при распространении по топологии элементов ФИС, а также реализована возможность последующей генерации gdsII файла-маски для изготовления отдельных элементов ФИС.

1.2. Требования к подготовке пользователя

Для уверенной работы с ПО Difra пользователю требуется базовая подготовка по следующим направлениям:

- 1) знания по основам программирования;
- 2) по программированию на python;
- 3) знания основ интегральной оптики.

2. ВЫПОЛНЕНИЕ ПРОГРАММЫ

При решении прикладных задач проектирования ФИС и для подключения модулей ПО Difra рекомендуется использовать инструмент JupyterLab. JupyterLab – это современное веб-решение проекта Jupyter для интерактивной разработки, моделирования и анализа данных, свободно распространяемое под лицензией MIT. При использовании JupyterLab все разработанные и отлаженные модули Difra подключаются в едином пользовательском интерфейсе.

Модульное ПО Difra – не единственный пример ПО для моделирования и проектирования ФИС, в котором работа пользователя осуществляется в JupyterLab. JupyterLab как единая среда для запуска расчетных модулей, ввода данных и обработки результатов проектирования используется также следующими зарубежными программными продуктами: VPI Photonics, IPKISS (Luceda).

2.1. Установка ПО Difra

Для выполнения установки ПО Difra на ваш компьютер запустите установочный файл difra_setup.exe (наименование установочного файла может содержать номер версии ПО). При установке может возникнуть окно – предупреждение операционной системы (например, такое, как на рисунке 1). При возникновении окна с предупреждением системы, нажмите «Подробнее...» и далее кнопку «Выполнить в любом случае».

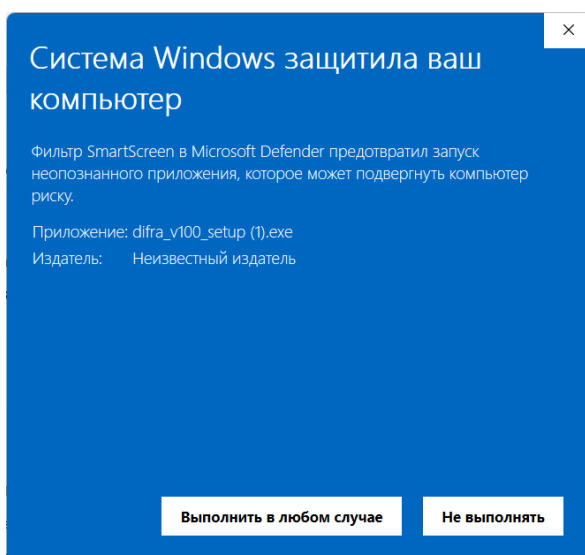


Рисунок 1 – Возможное предупреждение операционной системы

Следуйте по шагам Мастера установки Difra, при необходимости можете опционально выбрать, создавать ли значок на Рабочем столе. В окнах (как на рисунках 2 и 3) требуется нажать кнопки «Далее» и «Установить».

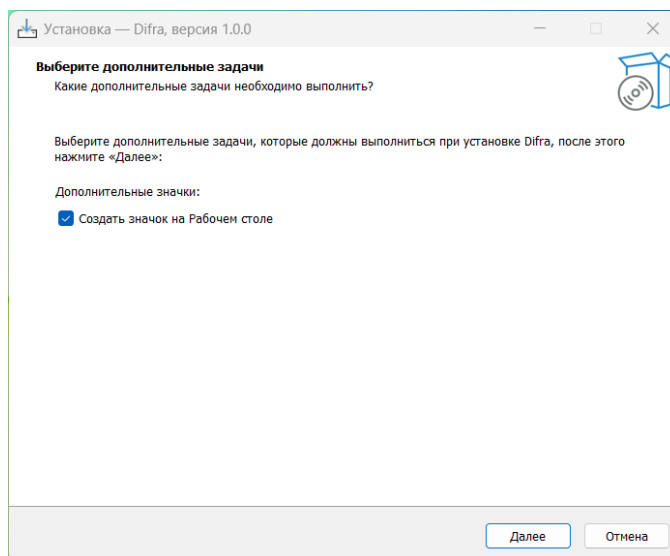


Рисунок 2 – Окно запуска Мастера установки ПО Difra

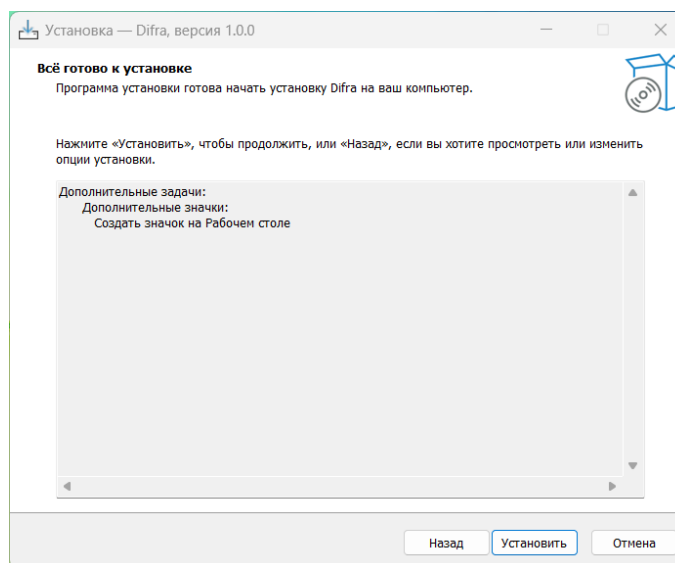


Рисунок 3 – Окно подготовки к установке

Дождитесь окончания установки. Прогресс установки отображается в окне как на рисунке 4. По окончании процесса установки возникает окно как на рисунке 5.

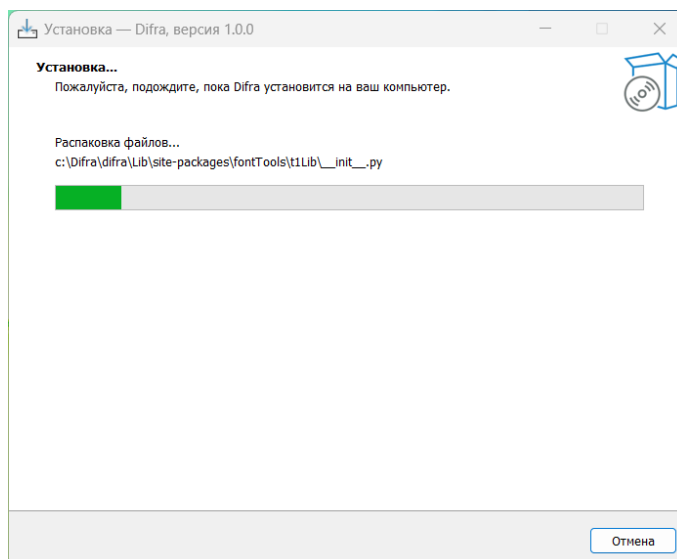


Рисунок 4 – Окно прогресса установки

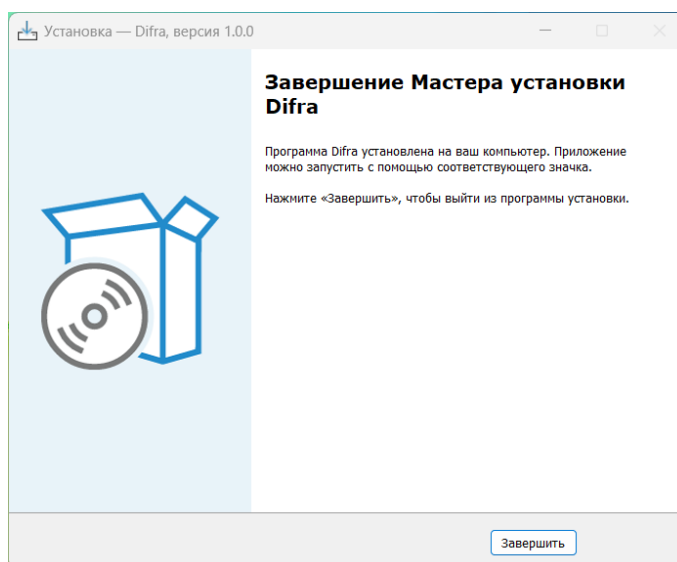


Рисунок 5 – Окно завершения установки ПО Difra

Приложение запускается с помощью ярлыка Difra Jupyter Lab. Выполняется запуск ПО Difra (как на рисунке 6), подождите несколько секунд. Окно Difra Jupyter Lab не нужно закрывать до конца работы с ПО Difra, оно должно работать в фоне.

```

Difra Jupyter Lab
c:\Difra>. \difra\scripts\jupyter-lab .
[I 2025-03-26 10:43:53.654 ServerApp] jupyter_lsp | extension was successfully linked.
[I 2025-03-26 10:43:53.666 ServerApp] jupyter_server_terminals | extension was successfully linked.
[I 2025-03-26 10:43:53.684 ServerApp] jupyterlab | extension was successfully linked.
[I 2025-03-26 10:43:54.343 ServerApp] notebook_shim | extension was successfully linked.
[I 2025-03-26 10:43:54.422 ServerApp] notebook_shim | extension was successfully loaded.
[I 2025-03-26 10:43:54.426 ServerApp] jupyter_lsp | extension was successfully loaded.
[I 2025-03-26 10:43:54.426 ServerApp] jupyter_server_terminals | extension was successfully loaded.
[I 2025-03-26 10:43:54.430 LabApp] JupyterLab extension loaded from C:\Difra\difra\Lib\site-packages\jupyterl
ab
[I 2025-03-26 10:43:54.430 LabApp] JupyterLab application directory is C:\Difra\difra\share\jupyter\lab
[I 2025-03-26 10:43:54.430 LabApp] Extension Manager is 'pypi'.
[I 2025-03-26 10:43:54.815 ServerApp] jupyterlab | extension was successfully loaded.
[I 2025-03-26 10:43:54.817 ServerApp] Serving notebooks from local directory: c:\Difra
[I 2025-03-26 10:43:54.819 ServerApp] Jupyter Server 2.15.0 is running at:
[I 2025-03-26 10:43:54.819 ServerApp] http://localhost:8888/lab?token=e8485284362b028cddb4c211e304a9b542beccc
6b07e1933
[I 2025-03-26 10:43:54.819 ServerApp] http://127.0.0.1:8888/lab?token=e8485284362b028cddb4c211e304a9b542b
eccc6b07e1933
[I 2025-03-26 10:43:54.819 ServerApp] Use Control-C to stop this server and shut down all kernels (twice to s
kip confirmation).
C 2025-03-26 10:43:54.875 ServerApp]

To access the server, open this file in a browser:
file:///C:/Users/ulyan/AppData/Roaming/jupyter/runtime/jpserver-18544-open.html
Or copy and paste one of these URLs:
http://localhost:8888/lab?token=e8485284362b028cddb4c211e304a9b542beccc6b07e1933
http://127.0.0.1:8888/lab?token=e8485284362b028cddb4c211e304a9b542beccc6b07e1933
[I 2025-03-26 10:43:54.919 ServerApp] Skipped non-installed server(s): bash-language-server, dockerfile-langu
age-server-nodejs, javascript-typescript-langserver, jedi-language-server, julia-language-server, pyright, py
thon-language-server, python-lsp-server, r-language-server, sql-language-server, texlab, typescript-language-s
erver, unified-language-server, vscode-css-languageserver-bin, vscode-html-languageserver-bin, vscode-json-la

```

Рисунок 6 – Окно запуска ПО Difra

При возникновении соответствующего запроса, требуется разрешить открыть html-файл с помощью установленного на компьютере браузера. Затем в браузере откроется вкладка с запущенным JupyterLab, где слева будет представлен перечень доступных тестовых примеров (рисунок 7).

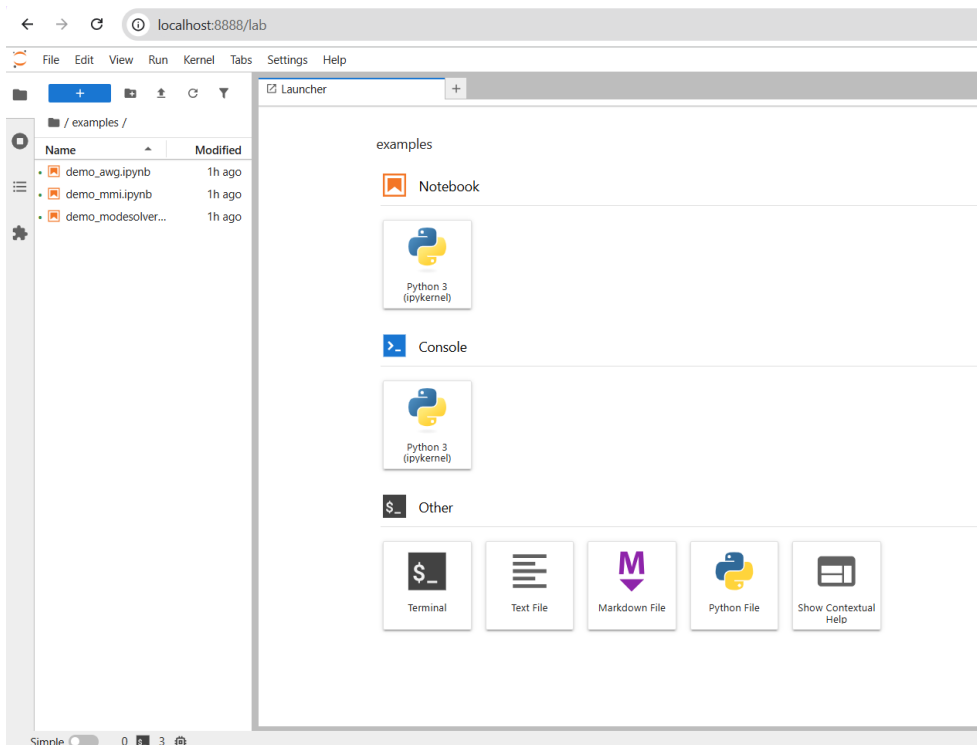


Рисунок 7 – Окно JupyterLab для работы с ПО Difra

Тестовые примеры запускаются при двойном нажатии на них левой кнопкой мыши (рисунок 8). Подробное описание тестовых примеров представлено в инструкции пользователя.

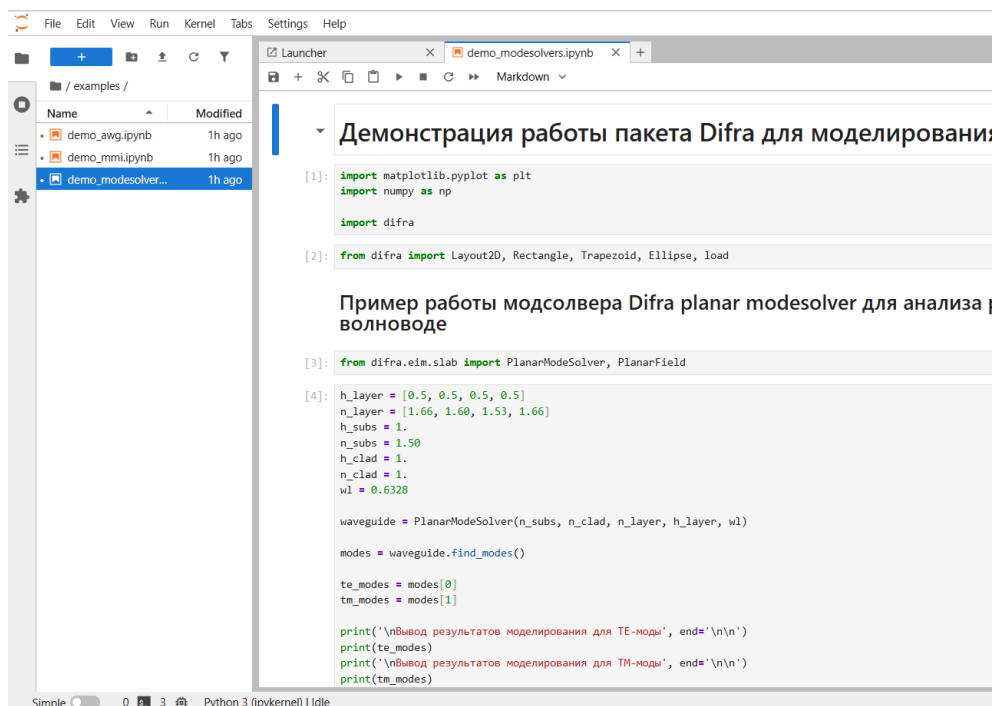


Рисунок 8 – Работа с тестовыми примерами ПО Difra

Для работы с ПО с помощью командной строки можно использовать Difra venv Prompt.

Установка программных модулей ПО Difra

При установке ПО Difra происходит автоматическая установка программных модулей Difra Mode, Difra Bend Modes, Difra Planar modesolver, Difra EIM modesolver, Difra BPM и Difra AWG. Дополнительных действий по установке программных модулей ПО Difra пользователю предпринимать не требуется.

2.2. Работа с ПО Difra

Работа с Difra начинается с запуска среды разработки JupyterLab. Далее пользователю необходимо создать .ipynb файл, в котором он будет писать скрипт для моделирования интересующих элементов ФИС. Для начала работы пользователь может выполнить как импорт всего ПО Difra (`import difra`), так и отдельных его модулей. В зависимости от того, какая задача стоит перед пользователем, могут быть импортированы модули для моделирования электромагнитного поля в поперечном сечении волновода,

распределения излучения в топологии элементов ФИС (`import difra.eim` или `import difra.awg`) и т.д. Пример импорта Difra представлен на рисунке 9.

```
import difra
```

Рисунок 9 – Пример кода импорта модуля ПО Difra

После выполнения импорта модуля ПО Difra так, как представлено на рисунке 9, обращение к классам ПО Difra, например, `Layout2D`, `Rectangle` или другим должно выполняться как `difra.Layout2D` или `difra.Rectangle`. Для прямого обращения к классам (только по названиям классов `Layout2D` и `Rectangle`, без использования `difra.` перед названиями классов при их вызове) необходимо выполнить их импорт так, как на рисунке 10.

```
from difra import Layout2D, Rectangle, Trapezoid, Ellipse, load
```

Рисунок 10 – Пример кода импорта классов ПО Difra

Импорт вспомогательных библиотек `matplotlib` для визуализации результатов расчетов, построения графиков и `numpy` для работы с массивами и линейной алгеброй может быть выполнен при необходимости (рисунок 11).

```
import matplotlib.pyplot as plt
import numpy as np
```

Рисунок 11 – Пример кода импорта вспомогательных библиотек

Эксплуатация программных модулей ПО Difra

Для эксплуатации программных модулей в процессе выполнения моделирования необходимо использовать метод `solve(solver_name, **kwargs)`, где `solver_name: str` - тип решателя, который будет использоваться: 'modes' – Difra Mode; 'bend_modes' – Difra Bend Modes; 'bpm' – Difra BPM; 'eim' - Difra EIM.

Для эксплуатации модуля Difra Planar modesolver в программном коде импортируется класс `PlanarModeSolver(n_subs, n_clad, n_layer, h_layer, wl)`, а для эксплуатации модуля Difra AWG - импортируется класс `AWG(awg_requirements, io_wg, fpr_wg, aw_wg, spectr)`.

Примеры использования метода `solve` для эксплуатации модулей Difra Mode, Difra Bend Modes, Difra BPM, Difra EIM, примеры импорта модулей Difra Planar modesolver и Difra AWG, а также подробное описание параметров методов и классов приведено в

Разделах 3 и 4 Инструкции пользователя, предоставляемой при доступе к тестовому серверу или при приобретении лицензии ПО Difra.

2.3. Работа с тестовой версией ПО Difra на сервере JupyterLab

Для тестирования и обучения работе с ПО Difra может быть предоставлен временный доступ к серверу JupyterLab с предустановленной тестовой версией ПО Difra. Пользователю по запросу и после подписания лицензионного соглашения предоставляется ссылка, логин и пароль для подключения к серверу JupyterLab.

На сервере JupyterLab предоставляется доступ ко всем необходимым функциям и модулям ПО Difra, тестовым и обучающим примерам с комментариями, справочной документацией по Difra.

При работе на тестовом сервере пользователь может копировать тестовые примеры, модифицировать их под собственные задачи, либо создавать собственные расчётные алгоритмы с использованием программных модулей Difra.

Для подключения к тестовому серверу необходимо в адресной строке веб-браузера ввести предоставленный Вам адрес сервера и нажать клавишу Enter. Далее произойдет загрузка страницы входа на тестовый сервер ПО Difra (рисунок 12). В форме входа требуется ввести в поля Username и Password предоставленные Вам логин и пароль, нажать кнопку «Sign in».

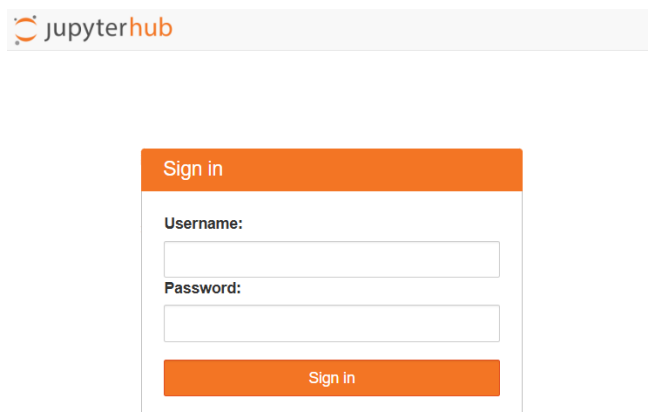


Рисунок 12 – Страница входа на тестовый сервер ПО Difra

После авторизации произойдет загрузка интерфейса JupyterLab, примерный вид которого представлен на рисунке 13. Слева на боковой панели расположен браузер файлов (File browser), где приведен перечень доступных пользователю тестовых примеров, а также созданных пользователем блокнотов. Название файлов с тестовыми примерами начинается с «demo_». При двойном клике на названии тестового примера откроется вкладка с

соответствующим примером использования ПО Difra для моделирования элементов ФИС. Пользователь может запускать и модифицировать расчетные примеры в соответствующих блокнотах.

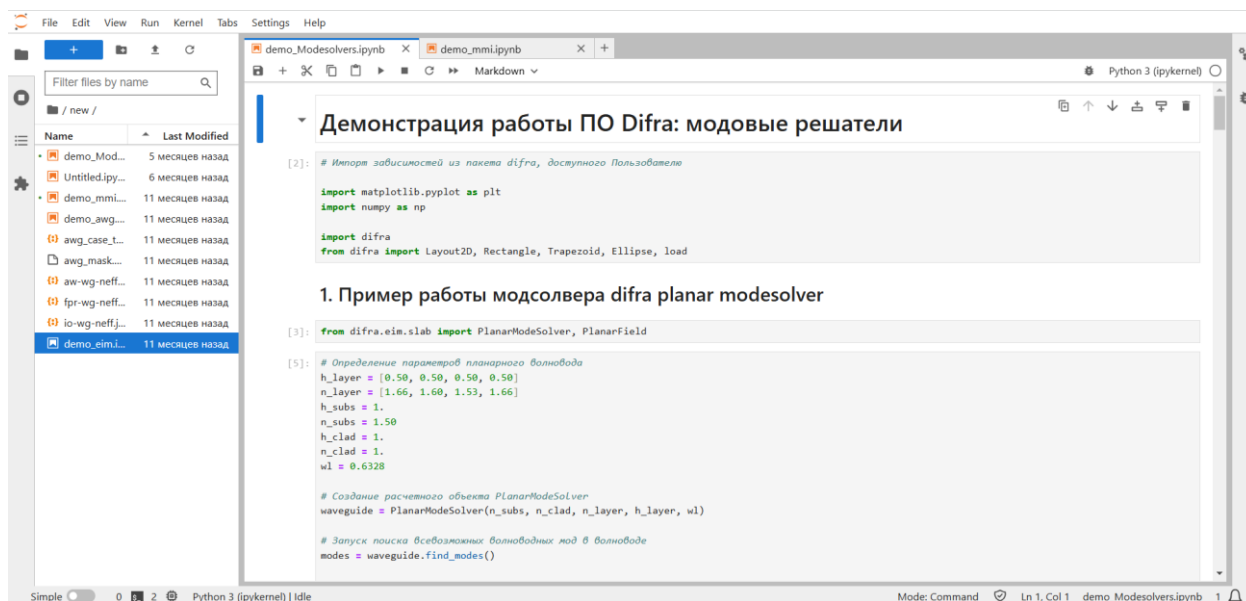


Рисунок 13 – Интерфейс JupyterLab для тестового использования ПО Difra

Пользователю доступны следующие тестовые примеры:

- demo_Modesolvers – пример использования модулей Difra Planar modesolver, Difra EIM modesolver, Difra Mode и Difra Bend modes.
- demo_mmi – пример моделирования MMI с использованием модуля Difra BPM и других модулей ПО Difra;
- demo_awg – пример моделирования AWG с использованием модуля Difra AWG и других модулей ПО Difra.

Пояснения по работе с тестовыми примерами приведены в разделе 3 Инструкции пользователя. Набор примеров может быть расширен в зависимости от задач пользователя.

С более подробным описанием интерфейса JupyterLab можно познакомиться в источнике <https://jupyterlab.readthedocs.io/en/latest/user/interface.html>.

2.4. Состав и функциональные характеристики ПО Difra

Базовые модули Difra, их взаимосвязь и направления применения описаны в таблице 1. В целом, ПО Difra предоставляет пользователю следующий набор функциональных возможностей:

- 1) задания и визуализации параметров расчетной области, расчетной сетки;

2) задания геометрии поперечного сечения и топологии элементов с помощью примитивов (прямоугольников, трапеций, эллипсов и др.), с возможностью поворота примитивов и их привязки к сетке или другим элементам;

3) расчета векторных модовых полей (волноводных и вытекающих мод) прямых и изогнутых изотропных и диагонально анизотропных волноводов (определение эффективных ПП мод, модового состава, распределения полей в поперечном сечении волновода, определение оптических потерь на изгибе);

4) определения параметров распространяющихся мод (с использованием гауссовой аппроксимации полей мод): определение и визуализация радиусов полей фундаментальной моды и мод высших порядков, расчет координаты максимума поля моды;

5) расчета материальных характеристик для 2,5D моделирования распространения оптического излучения через топологию элементов фотонной интегральной схемы (определения эффективных показателей преломления многослойных планарных 2D волноводов, моделирования и визуализации распределения поля для многослойных планарных 2D волноводов, определения эффективных материальных показателей преломления для 2,5D моделирования);

б) моделирования распространения оптического излучения в топологии интегрально-оптических элементов (моделирование и визуализация распределение электромагнитного поля в топологии интегрально-оптических элементов, определение величины интегралов перекрытия, определение фазовых и амплитудных характеристик выходного излучения, использование различных типов граничных условий, расчет S-параметров элементов);

7) дизайна дифракционной решетки на основе массива волноводов (англ. arrayed waveguide grating), моделирование спектральных характеристик, генерация топологии в gdsII формате;

8) постобработки результатов работы ПО с помощью набора инструментов языка программирования python;

9) определения вариации характеристик элементов ФИС при изменении параметров входного оптического излучения и технологического процесса изготовления;

10) разработки библиотек проектирования ФИС (PDK), включающих сведения о выполняемых технологических процессах на фабрике, характерных изменениях топологических размеров при их осуществлении и характеристиках базовых элементов, доступных к изготовлению на технологических площадках.

Далее кратко описаны применяемые методы моделирования базовых элементов ФИС, последовательность этапов моделирования, в п. 3 приведены примеры.

Таблица 1 – Краткое описание программных модулей ПО Difra

| Программный модуль | Выполняемые функции | Выходные параметры | Применяется при моделировании элементов |
|---|---|---|--|
| 1. Программный модуль для расчета поперечного сечения оптического волновода (Difra Mode и Difra Bend modes) | Расчет векторных модовых полей (волноводных и вытекающих мод) прямых и изогнутых волноводов на основе изотропных и анизотропных материалов | 1. Эффективные ПП мод 2. Модовый состав 3. Распределения полей в поперечном сечении волновода 4. Оптические потери на изгибе волновода | – Прямой и изогнутый волноводы – Поперечное сечение многомодового интерференционного делителя (ММИ) – Направленный ответвитель (X-coupler) Выходные данные применяются при моделировании других комплексных элементов ФИС |
| 2. Программный модуль для аппроксимации трехмерной задачи двухмерной (Difra Planar modesolver и Difra EIM modesolver) | Расчет волноводных модовых полей, расчет материальных характеристик для последующего выполнения 2,5D моделирования распространения оптического излучения через топологию элементов ФИС (методам BPM и FDTD) | 1. Эффективные ПП многослойных планарных 2D волноводов 2. Эффективные ПП прямых канальных 3D волноводов 3. Распределение поля для многослойных планарных 2D волноводов 4. Эффективные материальные ПП для 2,5D моделирования | – Многослойный планарный 2D волновод – Прямой канальный 3D волновод – Поперечное сечение многомодового интерференционного делителя (ММИ) |
| 3. Программный модуль для моделирования распространения оптического излучения через топологию элементов ФИС (Difra BPM) | Моделирование распространения оптического излучения в топологии элементов ФИС | 1. Распределение электромагнитного поля в топологии элементов ФИС | – Y-делитель – ММИ – Направленный ответвитель – Звездообразный разветвитель (star coupler) |
| 4. Модуль для моделирования AWG (Difra AWG) | Дизайн дифракционной решетки на основе массива волноводов, моделирование спектральных характеристик, генерация топологии в gdsII формате | 1. Спектральная характеристика элемента 2. Геометрические параметры топологии 3. Топология AWG в gdsII формате | – AWG |

2.4.1. Модовые решатели в ПО Difra для определения характеристик оптического излучения в волноводах

В ПО Difra реализованы модовые решатели на основе конечных разностей для прямых и изогнутых волноводов, полуаналитический метод эффективного ПП и решатель для многослойных планарных волноводов. Различные реализованные в пакете Difra вариации модовых решателей позволяют находить моды волновода – собственные функции задачи и постоянные распространения (эффективные ПП) – собственные значения задачи.

Таким образом, модовые решатели применяются для нахождения модового состава распространяющегося в оптическом волноводе излучения, вычисления эффективных ПП, соответствующих найденным модам, оптимизации поперечного сечения волновода, определения оптических потерь, вызванных изгибом волновода, а также для анализа распределения полей мод по поперечному сечению волновода.

Difra Mode

Difra Mode представляет собой модовый решатель для определения параметров излучения в поперечном сечении прямых волноводов. Difra Mode может быть применен для моделирования распространения оптического излучения в волноводах на основе как изотропных, так и диагонально анизотропных материалов. Difra mode является векторным модовым решателем, то есть при решении уравнения Гельмгольца рассчитываются все шесть компонент электромагнитного поля, тем самым не накладывается никаких ограничений на рассматриваемое поперечное сечение волновода и на выбор материалов.

Difra Bend modes

В изогнутых волноводах при распространении излучения возникают оптические потери (особенно, если радиус изгиба превышает критический) и происходит смещение максимума интенсивности моды от центра волновода. Difra Bend modes является модовым решателем для анализа распространения электромагнитного поля в изогнутых волноводах.

Difra Planar modesolver

При разработке отдельных элементов ФИС и волноводных пленок может потребоваться анализ распространения мод в планарных волноводах. В Difra реализован модовый решатель для многослойных планарных волноводов Difra Planar modesolver.

Difra EIM modesolver

Существует ряд подходов, позволяющих упростить решение векторных волновых уравнений и получить полуаналитическое решение для оценки функциональных параметров

волновода. Одним из таких методов является метод эффективного ПП. Метод основан на предположении, что в оптическом волноводе нет взаимодействия между модами с ортогональными поляризациями. Данное предположение приводит к тому, что векторные волновые уравнения могут быть сведены к скалярным волновым уравнениям.

Метод эффективного ПП является широко распространенным не только потому, что дает достаточно точные результаты, но и потому, что метод позволяет свести решение трехмерной задачи в двумерное пространство путем представления трехмерного волновода в виде планарных волноводов с ПП волноводной среды `neff wg` и оболочки `neff bg`. В свою очередь `neff wg` и `neff bg` в дальнейшем используются в 2.5 D моделировании распространения оптического излучения по топологии фотонных компонентов, например, с помощью BPM.

2.4.2. Модуль Difra BPM для моделирования распространения оптического излучения по топологии интегрально-оптических элементов методом распространяющегося пучка

Двумерный метод распространяющегося пучка, BPM, используется для расчета планарной задачи о распределении электромагнитного поля с помощью решения уравнения Гельмгольца (для TE поляризации решается уравнение относительно E_z компоненты ЭМ поля, для TM - относительно H_z). Этот подход получил широкое распространение за счет простоты и скорости выполнения расчетов в отличие от прямого трехмерного численного моделирования во временной области. Распространение излучения описывается с помощью парааксиального приближения волнового уравнения, которое предполагает, что волновой вектор отклонен на небольшой угол относительно оси распространения. Использование аппарата конечных разностей в BPM позволяет воссоздать картину распространения излучения.

2.4.3. Модуль Difra AWG для моделирования распространения оптического излучения

Дифракционная решетка на основе массива волноводов (AWG) – является спектрально селективным элементом, который применяется в задачах, требующих мультиплексирования и демультимплексирования сигналов. AWG представляет собой два звездообразных разветвителя, соединенных массивом волноводов, длина каждого волновода из массива отличается от длины других волноводов на величину, кратную инкременту длины волноводов ΔL (рисунок 14).

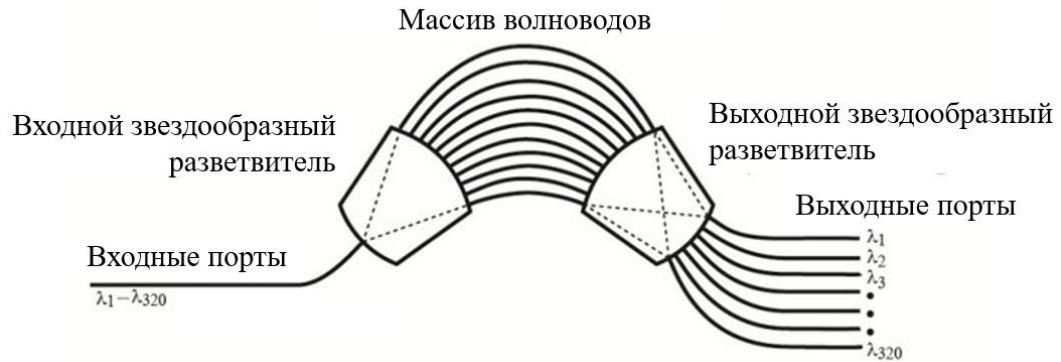


Рисунок 14 – Схематичное изображение AWG

Процесс проектирования AWG очень сложен. Во-первых, это связано с тем, что AWG представляет собой большую структуру (линейные размеры могут достигать нескольких сантиметров), поэтому применение таких методов, как FDTD или FDFD в особенности в 3D постановке задачи будет крайне затратно с точки зрения вычислительных ресурсов. Во-вторых, ключевой результат моделирования AWG – это спектральная характеристика, и для получения спектральной характеристики выполняется множество итераций моделирования AWG. В-третьих, AWG характеризуется сильным влиянием геометрических параметров различных элементов друг на друга, а также на спектральную характеристику всего элемента. В-четвертых, при моделировании AWG должны быть вычислены и проанализированы после моделирования большое число параметров спектра.

В Difra AWG реализованы модули для дизайна, моделирования, анализа результатов и формирования GDSII файла-маски AWG. Модель, которая используется для расчета спектра AWG, является аналитической, что позволяет значительно увеличить скорость расчетов. Однако необходимо принимать во внимание тот факт, что для правильной работы модели необходимо, чтобы входные и выходные волноводы AWG хорошо аппроксимировались методом эффективного ПП. Это условие выполняется в большинстве случаев, так как входные и выходные волноводы AWG, а также волноводы в массиве обычно являются тейпированными, расширяющимися (то есть их ширина превосходит ширину, соответствующую одномодовому режиму распространения излучения). Если же волноводы плохо аппроксимируются методом эффективного ПП, то ошибка будет отражаться в значениях ширины полосы пропускания каналов. На остальных параметрах эта ошибка практически не скажется.

2.4.4. Сведения о дополнительных программах

При работе с ПО Difra пользователь может воспользоваться следующим свободно распространяемым (доступным) программным обеспечением:

1) Для просмотра и редактирования gdsII файлов, генерируемых ПО Difra (например, gdsII файлов-масок AWG) может быть использовано ПО KLayout. Скачать установочные файлы и получить инструкцию по KLayout можно по ссылке: <https://www.klayout.de/>.

2) Для разработки gdsII файлов с топологиями ФИС на основе базовых элементов ФИС, рассчитанных с помощью ПО Difra, может быть использовано ПО Nazca (<https://nazca-design.org/>). Использование данного ПО для разработки gdsII-файла с топологией ФИС требуется при использовании ранних версий Difra. В будущем в Difra будет реализована разработка комплексной ФИС на основе известных топологий элементов (PDK) и генерация gdsII файлов под заданную технологическую платформу.

3. ПРОГРАММНЫЕ МОДУЛИ DIFRA И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ БАЗОВЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ФИС

Для моделирования параметров распространения оптического излучения в элементах ФИС требуется выполнить базовые подготовительные шаги: по описанию расчетной области, заданию сетки дискретизации расчета, описанию геометрии моделируемого элемента (поперечного сечения или топологии) и параметров используемых материалов.

Примеры описания расчетной области и геометрии, способов моделирования базовых интегрально-оптических элементов ФИС с использованием модулей ПО Difra приведены в Инструкции пользователя, предоставляемой при доступе к тестовому серверу или при приобретении лицензии ПО Difra.

В Инструкции пользователя также описаны тестовые примеры определения параметров оптического излучения в поперечном сечении оптических волноводов или при распространении излучения в топологии интегрально-оптических элементов.

4. КЛАССЫ И ФУНКЦИИ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ В ПО DIFRA

Описание классов, функций и их параметров, применяемых для работы в ПО Difra приведены в Инструкции пользователя, предоставляемой при доступе к тестовому серверу или при приобретении лицензии ПО Difra.

5. ЗАВЕРШЕНИЕ ПРОГРАММЫ

Для завершения программы не требуется каких-либо специальных действий от пользователя. После завершения процесса моделирования или других действий, сохранения результатов моделирования, пользователь может завершить работу с Difra путем завершения работы интерпретатора python.

ЗАКЛЮЧИТЕЛЬНЫЕ СВЕДЕНИЯ

Программное обеспечение для моделирования ФИС регулярно дорабатывается, дополняется новыми функциями и возможностями. В связи с этим настоящая инструкция также дорабатывается. Крайняя версия инструкции с обновленной версией программного обеспечения предоставляется пользователю при обновлении лицензии или на условиях, оговоренных в лицензионном договоре.