

Излучательные потери скругленных оптических микроволноводов

А.В. Дроздовский, Г.А. Зарецкая, Д.Д. Кремнев

Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ»

Аннотация: в работе приводятся результаты исследования влияния потерь, возникающих в скругленных оптических микроволноводах. Продемонстрировано, что в скругленных волноводах при уменьшении радиуса кривизны излучательные потери нелинейно возрастают. Данное явление необходимо учитывать при проектировании фотонных интегральных схем.

Ключевые слова: радиофотоника, собственные потери, оптические микроволноводы, интегральная оптика

1. Введение

Непрерывно растущие требования, предъявляемые к информационно-телекоммуникационным системам (в частности, для космической, спутниковой и сотовой связи, для радионавигации, для передачи сигнала по радиовещательным и телевизионным каналам, для технологий беспроводного доступа WiFi и LTE), а также к другим микроволновым технологиям, разрабатываемым в настоящее время, обуславливают необходимость поиска новых способов хранения, обработки и генерации сигналов сантиметрового и миллиметрового диапазонов СВЧ, обеспечивающих улучшение таких параметров, как быстродействие, пропускная способность, скорость передачи данных, помехоустойчивость и др.

Сравнительно недавно было показано, что одним из наиболее перспективных способов достижения таких целей является создание новых СВЧ устройств на основе принципов микроволновой фотоники. На начальном этапе развития микроволновой фотоники в ее устройствах ведущее место занимали резонаторы на модах шепчущей галереи в виде сферических, бутылочных, дисковых и тороидальных резонаторов. С их применением было реализовано множество устройств радиофотоники.

Из анализа литературы последних пятнадцати лет следует, что на данный момент времени наиболее перспективными элементами микроволновой фотоники являются планарные фотонные кольцевые микроволноводные структуры. С одной стороны, такие структуры показывают богатую физику волновых явлений, все ещё требующую всестороннего изучения. С другой стороны, они могут служить основой для построения разнообразных приборов и устройств. Среди приборов и устройств необходимо назвать генераторы оптического излучения (в том числе - генераторы сетки частот и генераторы сверхкоротких импульсов), а также различные приборы обработки СВЧ сигналов. Важными преимуществами фотонных кольцевых микроволноводных структур является возможность их реализации при помощи современной микроэлектронной технологии. Платформой для создания интегральных фотонных устройств являются полупроводники группы A_3B_5 и соединения кремния, в частности, нитрид кремния. Следует отметить, что планарная реализация разрабатываемых устройств позволит существенно уменьшить их массогабаритные характеристики и, в то же время, улучшить их рабочие параметры.

Одним из наиболее часто применяемых элементов радиофотоники являются интегральные оптические резонаторы, представляющие собой замкнутый микроволновод, подключенный к линиям передачи через участки связи. На основе

таких элементов можно создавать фильтры, линии задержки, оптические модуляторы, генераторы импульсов, генераторы параметрических гармоник и т.д. [1]. В рамках данной работы приводятся результаты исследования потерь, возникающих в скругленных оптических микроволноводах.

2. Результаты моделирования

При проведении моделирования был использован пакет, предназначенный для электродинамического моделирования Ansoft HFSS. В данном пакете моделирование распространения электромагнитных волн в структуре основано на использовании метода конечных элементов (Finite Element Method). Благодаря использованию данного подхода возможен расчет распространения волн различных диапазонов в произвольных волноведущих структурах.

Исследованная структура представляла собой прямоугольный оптический микроволновод на основе нитрида кремния с диэлектрической проницаемостью равной 3,92. В качестве материала, окружающего волновод (оболочки), был выбран оксид кремния (SiO_2), как наиболее часто используемый диэлектрик, применяемый для изоляции оптических интегральных схем. При моделировании производился расчет структур длиной 30 мкм с различным радиусом округления. Расчет производился на частоте 193,415 ТГц, что соответствует длине волны в воздушном пространстве 1,55 мкм. Данная частота лежит в середине оптического С-диапазона – наиболее используемого в данный момент. При расчете полагалось, что собственные потери материалов волновода и оболочки равны нулю, иными словами все потери, наблюдавшиеся в численном эксперименте являлись излучательными.

На рисунке 1 представлены результаты моделирования распространения волн в микроволноводах с радиусом скругления 100 мкм. Результаты, представленные на рисунке 1,а соответствуют волноводу с толщиной 100 нм и шириной 1.5 мкм. На рисунке 1,б представлены результаты моделирования микроволноводов с размерами 700 мкм на 1.5 мкм. Видно, что в данных структурах ведет себя по-разному. В относительно “толстом” волноводе с толщиной 700 нм поле сконцентрировано вокруг волновода и незначительно (порядка половины длины волны) выходит в оболочку. При данном радиусе скругления волна остается сконцентрированной вокруг волновода.

В относительно “тонком” волноводе, толщиной 100 нм поле значительно вытесняется в окружающую оболочку (на величину порядка двух длин волн). Из сопоставления рисунков видно, что в случае волновода толщиной 700 нм, поле практически не теряется в окружающее пространство. В случае волновода толщиной 100 нм электромагнитная волна оказывается слабосвязанной с волноведущей структурой, и основная ее часть излучается в окружающее пространство при распространении в скругленном волноводе.

На рисунке 2 приведены вносимые микроволноводом потери в зависимости от радиуса скругления для волновода 100 нм толщины. Видно, что вносимые волноводом потери нелинейно зависят от радиуса кривизны. Так, при величине радиуса скругления R более 400 мкм, потери аналогичны потерям в прямом волноводе. При R порядка 100 мкм потери составляют порядка 1 дБ (при распространении на расстояние равное 20 мкм) и нелинейно увеличиваются при уменьшении радиуса.

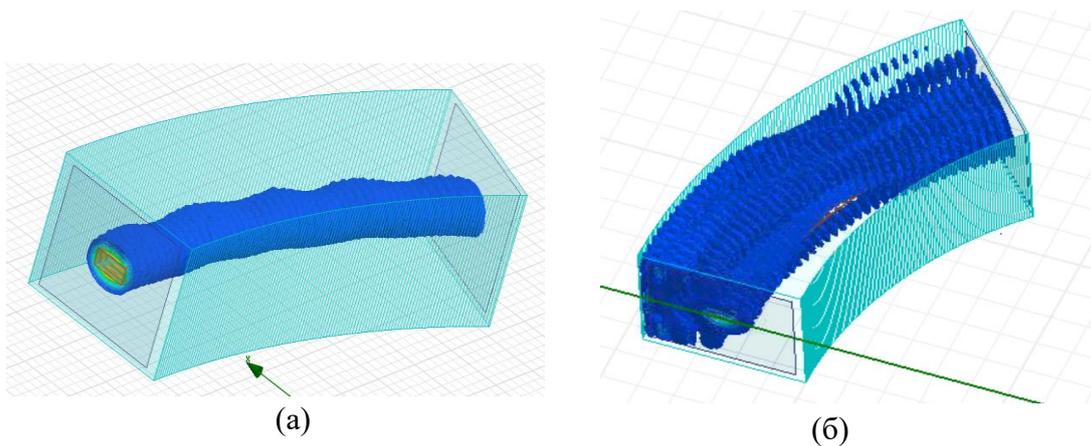


Рисунок 1. Распространение электромагнитной волны в диэлектрических микроволноводах различной толщины.

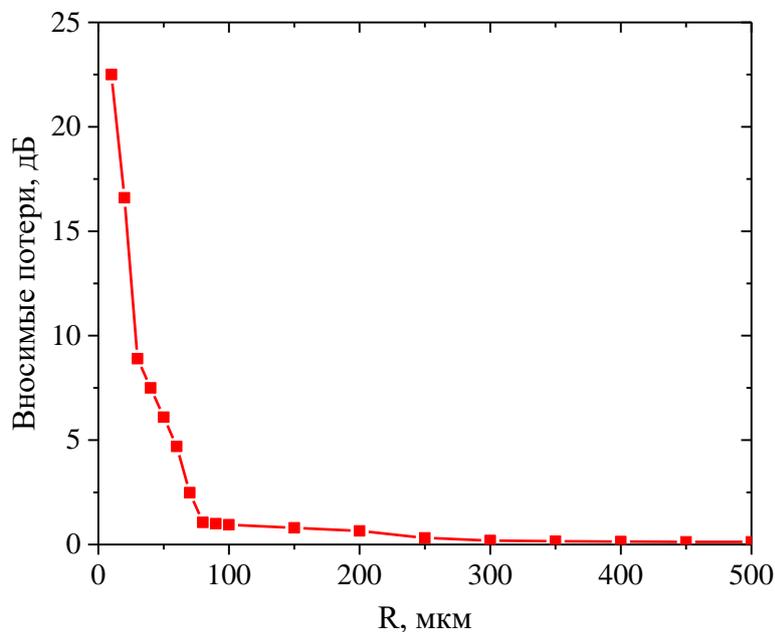


Рисунок 2. Зависимость вносимых микроволноводом потерь от радиуса кривизны.

3. Заключение

Излучательные потери нелинейно зависят от радиуса кривизны планарных микроволноводов. Наличие дополнительных потерь, возникающих на скруглении волноводов ограничивает минимальные размеры отдельных элементов и устройств, которые могут быть созданы на их основе скругленных микроволноводов, в т.ч. делителей сигнала, кольцевых резонаторов, модуляторов.

Список литературы

1. Amiri, I.S. Integrated Micro-Ring Photonics / I.S. Amiri, A. Afreezeh. – London «Taylor & Francis Group», 2017. – 380 p.