

6. Методика измерения кратности ослабления мощности дозы гамма излучения биологической защитой элементов локализирующих систем СТО № 81632696-0001-2015. ООО «АПИ».

УДК 623.7.396.383

СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ В ЗАДАЧАХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ КОНСТРУКЦИЙ ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННЫХ МОДУЛЕЙ АНТЕННОЙ РЕШЁТКИ

Ларин В.П.

доктор технических наук, профессор

*Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения,
Россия, 190000, Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, 67*

SYSTEM ANALYSIS IN THE PROBLEMS OF TECHNOLOGICAL DESIGN OF STRUCTURES OF OPTOELECTRONIC MODULES OF THE ANTENNA ARRAY

V.P. Larin

Doctor of Technical Sciences, Professor

Saint-Petersburg State University of Aerospace Instrumentation

АННОТАЦИЯ

Изложены материалы с решением задач, связанных с технологическим проектированием элементов интегральной оптики ждя использования в оптико-электрических приёмо-передающих модулях активных антенных решёток бортовых РЛС.. Их применение позволяет значительно улучшить функциональные и массогабаритные характеристики РЛС. Рассмотрены технологические операции, необходимые для получения полимерных световодов, заглубленных в поверхность диэлектрической подложки. Выполнен анализ обеспечения минимальных светопотерь и помех при передаче световой волны по полимерному световоду. Изложена последовательность выполнения технологических операций по предлагаемому варианту наноимпринтинга, как способа получения встроенных полимерных световодов.

ABSTRACT

The materials with the solution of problems related to the technological design of integral optics elements are presented, waiting for the use of active antenna arrays of on-board radars in the optiko-electric transceiver modules. Their use can significantly improve the functional and weight and size characteristics of the radar. The technological operations necessary for the production of polymer light guides buried in the surface of the dielectric substrate are considered. The analysis of ensuring minimal light losses and interference during the transmission of a light wave along a polymer light guide is carried out. The sequence of technological operations on the proposed version of nanoimprinting, as a method for obtaining embedded polymer light guides, is described.

Ключевые слова: оптико-электронный модуль, полимерный заглубленный световод, технология изготовления, наноимпринтинг, уменьшение светопотерь

Keywords: optiko-electric modules, polymer light guides, manufacturing technology, nanoimprinting, reduction of light loss.

Введение. В современных системах радиолокации, радионавигации и радиоэлектронного противодействия широко используются активные фазированные антенные решётки. Основу конструкции антенны составляет множество приемо-передающих модулей (ППМ), размещенных в полотне антенной решётки [2]. Конструкторско-технологическое развитие антенных решёток и ППМ идет в направлениях создания планарных конструкций с оптико-электронным и электронно-оптическим построением схем передающих и приемных каналов ППМ. Использование принципов фотоники и интегральной оптики для реализации схем и конструкций таких модулей имеет огромное значение для всех конструктивных уровней радиолокационной системы (РЛС).

В интегральной оптике конструктивной основой многих устройств является планарный (двумерный) оптический световод. При проектировании устройств интегральной оптики

приходится решать две основные группы взаимосвязанных задач: конструирования оптических элементов и технологической реализации этих элементов. Задачи нуждаются в проведении системного анализа, необходимого для формирования точной постановки и содержания задач и эффективного их решения.

Процесс системного анализа рассмотрим на примере поиска возможных решений для проектирования планарных канальных световодов в конструктивном варианте заглубленного исполнения. Планарный световод представляет собой плоский диэлектрический элемент, расположенный на диэлектрической подложке. Планарные полимерные световоды в настоящее время находят всё большее применение в устройствах передачи оптических сигналов, в том числе в канальной заглубленной конструктивной форме [1,3]. Основу пленочного световода (рис. 1) составляет диэлектрическая пленка с параметрами $\epsilon_{пл}$, μ_0 , выращенная на диэлектрической подложке

или сформированная методами интегральной технологии. Конструкция такого световода ограничена подложкой и верхним покрытием. Для распространения волн по световоду необходимо, чтобы показатели преломления пленки, подложки и покрытия находились в следующих отношениях $n_1 > n_2 > n_0$. Если увеличить угол φ так, чтобы выполнялось условие полного внутреннего

отражения от подложки, то наблюдается полное внутреннее отражение, как от границы раздела «канал—подложка», так и от границы раздела «канал—покрытие». Световая волна, попавшая в канал, будет распространяться в нем по зигзагообразному пути (рис. 1, а). Подобные световоды используются для передачи света в пределах оптической или оптико-электронной подложки и в локальных линиях связи.

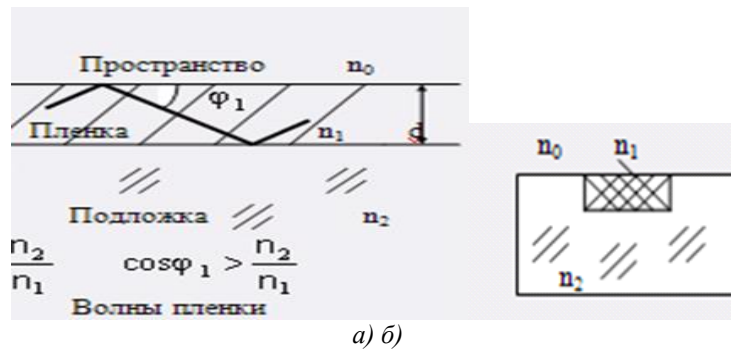


Рис. 1. Вид волны при полном внутреннем отражении в планарном световоде (а) и структура световода заглублен-ного канального типа (б)

С позиции наиболее эффективной защиты канала от внешних факторов данный вариант рассматривается и развивается как перспективное направление проектирования световодов, внедряемых в поверхность подложки. Но, в таких световодах, при последовательном отражении волн света от поверхностей n_0 и n_2 , возникают проблемы светопотери, имеют место помехи, различного рода деградации и др. Необходимы технологические решения по обеспечению необходимых условий прохождения волны по каналу.

Цель. Цель исследования заключалась в поиске технологических решений по обеспечению неискаженного прохождения световой волны по световоду заглубленного канального типа. При этом главной задачей является рассмотрение таких влияющих факторов, как свойства и параметры поверхности подложки и наносимого покрытия и возможные загрязнения, образующиеся при выполнении технологических операций. Для реализации цели выполнены исследования по технологическому проектированию процессов формирования световодов с минимизацией потерь и искажений, что является важнейшим условием применения оптико-электронных элементов в приёмно-передающих модулях РЛС.

Материал и методы исследования. К методам, позволяющим сформировать световодные пленки непосредственно в подложке, относятся методы, основанные на диффузии, имплантации ионов, электрооптическом эффекте и др. Эти методы широко используются при создании планарных и канальных световодов интегрально-оптических (фотонных) устройств [3]. В данной статье ограничимся рассмотрением только полимерных световодов, формируемых на подложках из керамики (включая ЛТСС-керамику), ниобата лития, плавленного кварца, полиимида, на тонких слоях карбида кремния (SiC),

поликристаллического CVD-алмаза или графитовых пленках PGS. В отличие от широко распространенных оптических сред, таких как оптическое стекло или монокристаллы, полимерные материалы являются привлекательными для создания систем с широкой полосой пропускания частот, с малым светорассеянием, устойчивых к динамическим нагрузкам. Полимерные световоды относительно дешевы и просты в изготовлении. Эти преимущества делают их незаменимыми для использования в локальных линиях связи, в качестве датчиков и индикаторов в рекламных и декоративных целях. Но реализация этих достоинств ограничена из-за высокого уровня светопотерь, потребовавших проведения исследований комплекса оптических и физико-механических характеристик полимерных световодов и технологий их изготовления. Проведен анализ по всей технологической цепочке изготовления полимерных световодных систем: материал полимерного световода [1]; материал подложки; технологии подготовки поверхности к нанесению полимерного слоя [4]; способы формирования канальной топологии световодной системы на подложке [3]; технологии заполнения канальных образований полимерным материалом; финишные операции полирования и нанесения покрытия на сформированные элементы.

К методам непосредственного формирования заглубленных волноводов можно отнести метод электростимулированной диффузии, ионной имплантации, твердотельной диффузии и ионного обмена. Наибольшее внимание в опубликованных результатах исследований относится к формированию световодов на подложке из ниобата лития (LiNbO_3) методами твердотельной диффузии и ионного обмена.

Метод на основе диффузии Ti в LiNbO₃ для заглубленных световодов технологически сложен в реализации из-за высоких требований к изготовлению пленочной титановой полоски, проблем с высокой температурой и поляризацией.

Метод ионного обмена наиболее часто используется в акустоэлектронике, интегральной оптике и для изготовления оптических световодов может быть рассмотрен в варианте протонно-ионного обмена. Суть этого метода состоит в том, что в образце LiNbO₃ ионы лития замещаются на протоны (ионы водорода), которые имеют лучшие показатели преломления в той области, где произошло данное замещение. Преимуществом метода ионного обмена являются малые потери в световодах (от 0,2 до 0,5 дБ/см). по сравнению с другими методами. К недостаткам можно отнести проблемы с выбором диффузантов под определенный тип кристалла.

Заслуживают внимания специализированные комплексные технологии, примером которых может служить наноимпритная технология. Обычно эти методы используются для изготовления субмикронных элементов или элементов, имеющих микронные размеры с высокими требованиями к точности, например, планарные световоды имеют характерные размеры на уровне 5 – 10 мкм, но точность должна быть порядка 50 нм. Наноимпритная технология рассматривалась как вариант формирования полимерных световодных структур на кремниевых подложках в каналах, полученных с помощью CO₂ лазера. Типовая технология наноимпринтинга состоит из двух самостоятельных процессов: изготовления «инструмента» и непосредственного формирования полимерного рисунка на подложке. Изготовление «инструмента» - штампа с необходимой топологией применяется для получения гребенчатых («ребристых») и поверхностных наложенных световодов. Для рассматриваемого варианта канальных заглубленных световодов, показанных на рис. 1, форма наноимпритного штампа должна быть совершенно плоской, покрытой антиадгезионным

составом для работы с полимером. Процесс образования полимерных каналов световодов начинается с нанесения на подложку тонкого слоя полимера. Полимер нагревается обычно до 90-100 °С, т.е. до температуры, при которой полимер приобретает пластичность. Плоским штампом на полимерный слой оказывается давление с выдержкой в несколько минут, чтобы полимер мог заполнить каналы подложки. Для полиметилметакрилата рассмотрен режим стеклования около 105 °С, температура печати порядка 155 °С и давление – до 10 МПа.

Так как после прессования на поверхности имеются остатки полимера, то для его удаления используется ионное травление поверхности, которое обеспечивает равномерное удаление полимера. В результате остатки тонкого слоя полимера будут удалены, а верхние границы заполненных полимером каналов, сравняются с поверхностью подложки. Для придания требуемых свойств поверхностям световодов и подложки выполняются операции полировки и плазмохимической очистки. Вся полученная система световодов (или локально отдельные световоды) покрывается полиимидной пленкой. Тем самым выполняется формирование топологии световода по рис. 1.

Технологические операции, применяемые в описанном модернизированном технологическом процессе от получения углублений (каналов) необходимой формы и размеров до финишной обработки полученных полимерных световодов (включая операции изготовления формы наноимпритного штампа), показаны на рис. 2.

Использование электрохимической полировки и плазмохимической очистки позволяет устранить практически любые макроскопические дефекты и микродфекты, пыль или другие инородные включения, сравнимые или меньше длины волны.

На выбор технологических операций влияют свойства рассматриваемых полимерных материалов [1]. Так большинство полиимидов и поликарбонатов не фоточувствительны, что вызывает необходимость применения



Рис. 2. Схема технологических операций, составляющих процесс формирования световодов

определенных технологий с использованием шаблона из фоторезиста и ионное травление. А

фоточувствительные полимеры не требуют дорогостоящего оборудования и вспомогательных

материалов и могут быть использованы в качестве фоторезиста, что позволяет значительно сократить время получения полимерных планарных структур по всем технологическим операциям.

Результаты исследования и выводы. В результате использования рассмотренных технологий возможно создание световодных соединений в устройствах интегральной оптики с минимальными потерями и искажениями при обработке и преобразовании сигналов. Актуальность и перспективность применения устройств интегральной оптики в бортовых аэрокосмических системах подтверждено практикой. Использование помехозащищенных оптических элементов с минимальными потерями в конструкциях ППМ активных антенных решёток бортовых РЛС позволяет значительно улучшить их функциональные характеристики, уменьшить массогабаритные параметры и упростить решение задач обеспечения теплового режима. Уменьшение габаритов ППМ и улучшение функциональных характеристик создают необходимые условия для получения РЛС с существенным ростом технических характеристик (помехозащищенности, снижения потерь в линиях передачи сигналов, повышение стабильности и повторяемости характеристик, пропускной способности каналов передачи информации и её уплотнения и др.). Следует отметить, что улучшение каждой из перечисленных системных характеристик вызывает улучшение связанных с ними характеристик вторичного плана. Таким образом, технологии создания полимерных

заглубленных световодов, рассмотренные в статье, с реализацией задачи минимизации потерь и искажений проходящих сигналов, имеют в конечном итоге высокую значимость для бортовых и мобильных РЛС.

Список литературы

1. Зубков А.И. Структура и свойства полимерных световодов : автореферат дис. доктора физико-математических наук : 02.00.04 / Инженер. центр полимер. оптических волокон.- Тверь, 2000.- 40 с.
2. Ларин В.П. Системный анализ в процессе проектирования приемо-передающих модулей активной фазированной антенной решетки // The Way of Science. International scientific journal. 2022. № 6 (100).- С. 20 - 23.
3. Ларин В.П., Шелест Д.К. Технологическое проектирование гибридных оптоэлектронных устройств // Датчики и системы. 2019. № 11. - С. 25-32.
4. Ларин В.П. Технологии подготовки поверхности подложек оптико-электронных узлов / Волновая электроника и инфокоммуникационные системы: Двадцать третья международная научная конференция (СПб., 1-5 июня 2020 г.): сб. статей в 2 ч. Ч. 2. СПб.: ГУАП, 2020. С. 92 – 102.



© В.П. Ларин, 2022

2.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ МИКРОКЛИМАТА ТЕПЛИЦЫ НА ОСНОВЕ НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ В УСЛОВИЯХ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТЕЙ

Самадов А.Р.

АННОТАЦИЯ

Нечеткая логика позволяет разработчикам управлять сложными системами более эффективно, чем традиционные подходы. Поскольку это обеспечивает простой способ прийти к определенному выводу на основе неоднозначной, неточной или шумной информации. В этой статье мы предложили нечеткую логику для управления микроклиматом теплицы. Предлагаемая управления моделируется с использованием инструментария нечеткой логики MATLAB. Результат используется для вычисления температуры и влажности воздуха для различных типов теплиц в условиях неопределенностей. Процесс полностью основан на принципе получения неточных входных данных от датчиков, подвергая их нечеткой арифметике и получая четкое значение микроклиматических периодов.

Ключевые слово. Моделирование, смарт теплицы, нечеткая логика, Матлаб.

Теплица - это решение для защиты растительности от болезней и непогоды, представляющее собой сложную систему [1, 2]. Основной функцией управления теплицей является поддержание микроклимата, на который влияющие факторы такие как, солнечная излучения, скорость ветра, внешняя и внутренняя температура и влажность [3]. Микроклимат теплицы поддерживается с помощью нечеткой логики, который, позволяет управлять температурой и влажностью воздуха теплицы [4, 5].

Поскольку теплица гарантирует подходящие микроклиматические условия для постоянного

выращивания [6]. Для управления теплицей создано физическая модель, который, должна быть способна предвидеть изменения во внутренней среде параметры, которые основаны на нескольких граничных условиях. В этой работе представлена модель теплицы разработанный на основе нечеткой логики, который, на четырех основных слоях: техническая конструкция теплицы, воздух внутри теплицы, растения и почва. Значимость любого покрова состоит в последующем: теплица сохраняет тепло (покрытие обычно изготавливается из пластиковой пленки или стекла); воздух в помещении - это микроклимат в