

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

Кафедра электронных приборов

Основы технологии оптических материалов и изделий

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ОПТИЧЕСКОГО ВОЛНОВОДА

Методические указания к лабораторной работе
для студентов направления 200700.62 – Фотоника и
оптоинформатика

2011

681.7
О-662

УДК 681.7.026.6 (076.5)

Орликов, Леонид Николаевич.

Исследование технологии изготовления оптического волновода = Основы технологии оптических материалов и изделий: методические указания к лабораторной работе для студентов направления 200700.62 – Фотоника и оптоинформатика / Л. Н. Орликов; 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, 2011. - 14 с.

Целью настоящей работы является изучение технологии изготовления оптического волновода.

В ходе выполнения работы у студентов формируются:

- способность выполнять задания в области сертификации технических средств, систем, процессов, оборудования и материалов (ПК-25);
- способность разрабатывать инструкции по эксплуатации используемых технического оборудования и программного обеспечения для обслуживающего персонала (ПК-32).

Пособие предназначено для студентов очной и заочной форм, обучающихся по направлению «Фотоника и оптоинформатика» по курсу «Основы технологии оптических материалов и изделий».

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

«___» _____ 2011 г.

Основы технологии оптических материалов и изделий

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ОПТИЧЕСКОГО ВОЛНОВОДА

Методические указания к лабораторной работе
для студентов направления 200700.62 – Фотоника и оптоинформатика

Разработчик

д-р техн. наук, проф. каф.ЭП

_____ Л.Н. Орликов

_____ 2011 г

Содержание

1 Введение	3
2 Теоретическая часть	4
2.1 Общие понятия	4
2.2 Материалы для изготовления волноводов	4
2.3 Методы получения волноводов	4
2.4 Контрольные вопросы	6
3 Экспериментальная часть	6
3.1 Оборудование, применяемое для исследований	6
3.2 Технология изготовления волноводов на ниобате лития	9
3.3 Расчет мощности источника	11
3.4 Последовательность технологических операций	12
3.5 Задание на работу	13
3.6 Методические указания по выполнению работы	13
3.7 Содержание отчета	13
4 Рекомендуемая литература	13

1 Введение

В настоящее время оптические волноводы находят широкое применение в самых современных радиоэлектронных приборах. Такие приборы способны работать в условиях сильных электромагнитных полей, в агрессивных и взрывоопасных средах. Однако, развитие приборов на основе волноводов сдерживается недостаточно отработанной технологией их изготовления.

Волновод представляет собой подложку (желательно с пьезоэффектом), на которой сформирован стеклообразный слой толщиной 0,1-0,3 мкм), обладающий полным внутренним отражением. При этом коэффициент преломления слоя несколько больше коэффициента преломления подложки (отличается на 0,01-0,1).

Сегнетоэлектрические кристаллы ниобата лития благодаря совокупности ценных свойств широко применяются в качестве сред акусто- и электрооптического взаимодействия при создании устройств управления лазерным излучением. Последние годы все больше интерес проявляется к использованию этих кристаллов в соответствующих планарных устройствах волноводного типа. В особенности это относится к разработке приборов на электрооптическом и нелинейном эффектах в кристаллах ниобата лития. Кристаллы ниобата лития имеют структуру точечной группы симметрии $3m$ и характеризуются одноосной оптической анизотропией. Приводимые в литературе средние значения показателей преломления обыкновенного n_o и необыкновенного n_e на длине волны $\lambda=633$ нм составляют $n_o=2.290$, $n_e=2.200$. Для изготовления интегрально-оптических элементов обычно используются пластины базовых срезов однодоменных монокристаллов, чаще всего Y-среза.

Целью настоящей работы является изучение технологии изготовления оптического волновода.

В итоге выполнения лабораторной работы студент должен

- *знать*: физические принципы работы оптического волновода, как элемента приборов электроники и наноэлектроники; основные приемы построения последовательностей технологических операций при формировании и синтезе оптических покрытий на материалах оптической электроники;

- *уметь*: ориентироваться в многообразии современных технологий, применяемых при производстве приборов электроники и наноэлектроники; разрабатывать принципиальные схемы последовательностей технологических операций; определять экспериментальным или расчетным путем оптимальные режимы проведения технологических операций; использовать для анализа процессов стандартные программные продукты;

- *владеть* основными навыками анализа достоинств и недостатков известных технологий формирования оптических покрытий на элементах электроники и наноэлектроники.

2 Теоретическая часть

2.1 Общие понятия

Пьезоэффект – это явление появления ЭДС при деформации кристалла.

Пироэффект – это явление появления ЭДС при нагревании кристалла.

Электронно-оптический эффект – это явление изменение показателя преломления кристалла в электрическом поле (Эффект Керра).

Световой луч – это электромагнитная волна с магнитной (H) и перпендикулярной электрической (E) составляющей.

Обыкновенный луч – луч отражающийся по классическим законам оптики (H- волна).

Необыкновенный луч – поляризованный луч, отражающийся из глубины материала.

Мода – это излучение, проходящее по волноводу и оставшееся после интерференции.

Децибел – единица десятикратных потерь на отрезке длины

Фоторефрактивный эффект – изменение показателя преломления под действием света.

Эффект Поккельса – уменьшение показателя преломления под действием электрического поля.

2.2 Материалы для изготовления волноводов

В качестве материалов для изготовления подложки применяются стекло, пьезокерамика, ниобат лития, танталат или силикат висмута и другие материалы. Стекло является наиболее дешевым материалом, однако волноводы из него пригодны только для изготовления пассивных элементов.

Напыляемые материалы должны быть химически чистыми с контролируемыми примесями. Особенно нежелательны примеси алюминия, углерода, вольфрама, выступающие в роли тушителей излучательных мод. Основные данные по материалам приведены в соответствующей литературе: (Анурьев В.Ф. Справочник конструктора машиностроителя. – М.: Машиностроение, 1998. – 250 с).

Вакуумная гигиена. Материалы для очистки поверхности должны быть чистыми, без осадка и посторонних включений. Элементы вакуумной камеры и электронно-ионного источника должны быть очищены и обезгажены. В помещении не должно быть пыли, которая всасывается в вакуумную камеру в момент ее разгерметизации для проведения монтажных работ.

2.3 Методы получения волноводов

Существует несколько способов получения волноводов: метод ионного обмена, метод высокотемпературной диффузии, метод ионной имплантации.

Метод ионного обмена. Наиболее простым является получение волновода методом ионного обмена, при котором подложка окунается в горячую (220°C) бензойную кислоту или в расплав солей. При этом происходит обмен ионами между основой волновода и ионами тяжелых металлов. Часто для получения волновода на У- срезе перед ионным обменом проводится высокотемпературная диффузия или ионная имплантация титана.

Метод высокотемпературной диффузии. Одним из наиболее перспективных методов изготовления волновод с малым затуханием является метод высокотемпературной диффузии. Суть метода состоит в нанесении на поверхность подложки пленки (Ti) или полоски металла или его окисла. После этого проводится диффузионная разгонка и легирование кристалла.

Пленки, предназначенные для диффузии, наносят на поверхность подложек (ниобата лития) обычно термическим испарением в вакууме. После нанесения пленки образцы нагреваются примерно в течение 1 часа в потоке аргона до определенной температуры в интервале $850\text{-}1000^{\circ}\text{C}$ и далее выдерживаются при ней в течение нескольких часов. По окончании диффузии в камеру напускается кислород для восстановления стехиометрии состава поверхностной области ниобата лития.

Основной особенностью диффузных волноводов, отличающей их от пленочных, является неоднородность распределения показателя преломления в поперечном сечении волновода. Изменение показателя преломления, достигаемое диффузионным способом, плавно убывает по мере удаления от поверхности подложки. Качественно распространение световой волны в диффузном волноводе можно описать следующим образом. Волна, падая со стороны подложки на границу кристалл - воздух под углом, большим критического, испытывает полное внутренне отражение. Вследствие рефракции в среде с неоднородным изменением показателя преломления оптический путь отраженной волны искривляется в сторону возрастания показателя преломления, то есть в сторону поверхности волновода. Наличие в диффузном волноводе лишь одной резкой границы раздела сред объясняет весьма малые потери на рассеяние за счет неоднородностей поверхности. Действительно, характер роста потерь с увеличением номера моды в волноводах, сходных по структуре с диффузным, подтверждает предположение о том, что основной вклад в потери вносит затухание в подложки. По этой причине диффузант следует выбирать таким, чтобы его присутствие заметно не увеличивало поглощение в кристалле.

При использовании рассматриваемого метода для создания канальных и одномодовых планарных структур в ниобате лития, следует подавлять аутдиффузию Li_2O в областях, смежных с участками формируемых каналов. Известно, что аутдиффузионный процесс приводит к повышению показателя преломления необыкновенного луча n_g . На моды именно этой поляризации чаще всего рассчитываются электрооптические приборы. Процесс аутдиффузии Li_2O может приводить к потерям, невозпроизводимости модового состава и постоянных распространения мод и канальной структуре и является нежелательным. Данную проблему можно решить применяя

предварительный отжиг грубо отполированных пластин ниобата лития в порошке Li_2O при 600°C в течение 72 часов. После чего производится полировка кристаллов и диффузия титана.

2.4 Контрольные вопросы

1. Методы получения волноводов
2. Последовательность операций получения диффузионного волновода
3. Каким требованиям должны удовлетворять материалы для волноводов?
4. Каковы этапы процесса формирования пленки
5. Что летит в пленку при термическом испарении материала в вакууме?
6. Как определить какая фракция формируется в процессе конденсации пленки?

3 Экспериментальная часть

3.1 Оборудование, применяемое для исследований

Схема вакуумной установки представлена на рис. 3.1.

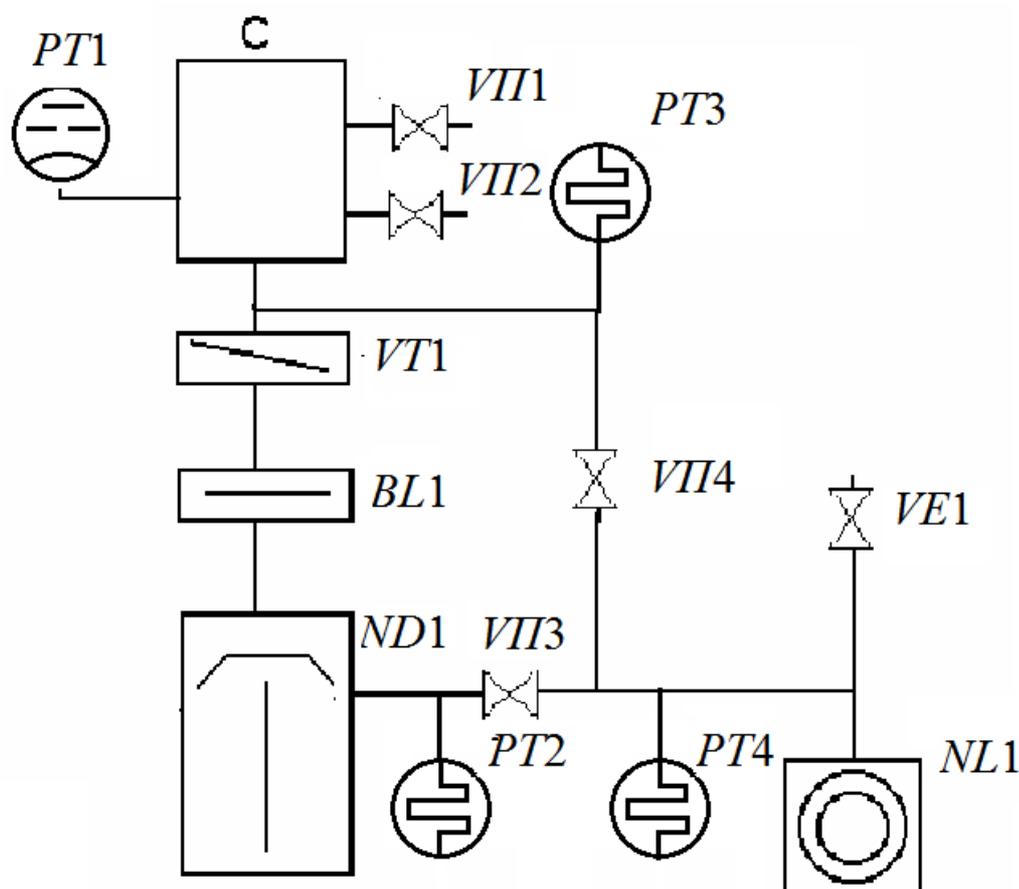


Рисунок 3.1 – Схема вакуумной установки

Вакуумная камера *C* откачивается паромасляным диффузионным насосом *ND1*. Натекатель *VIII* предназначен для напуска аргона. Затвор *VT1* предназначен для перекрывания диффузионного насоса в момент открывания вакуумной камеры. Азотная ловушка *BL1* служит для улавливания паров масел от работы вакуумных насосов. Вращательный механический насос *NL1* при помощи клапанов *VP3* и *VP4* может непосредственно подключаться к вакуумному колпаку или создавать предварительное разряжение для пароструйного насоса.

Давление в вакуумной системе измеряется преобразователями *PT1* - *PT4*.

Для некоторых пассивных элементов оптоэлектроники (разветвители, светопроводы и др.) использование кристаллов является неоправданно дорогим мероприятием. Предлагается технология изготовления пассивных элементов оптоэлектроники, в которой в качестве основы используется стекло. Однако, широкому использованию стекла в качестве волновода, препятствует локальная неоднородность стекла, деструкция поверхности стекла с течением времени, особенности формирования состава волноводного слоя в процессе напыления пленки.

Методы решения проблемы базируются на разработке технологии предварительной обработки стекла, на анализе направления газофазных реакций при напылении пленок, на функциональном изменении параметров в процессе напыления пленки.

Для формирования волновода важна разница показателей преломления между пленкой и подложкой. Предполагается формировать пленку на предварительно обработанное стекло, а также на стекло с предварительно напыленной пленкой. Предполагается, что возбуждение волновода зависит от концентрации атомов напыленного металла в приповерхностном слое. В качестве материалов для промежуточного слоя между волноводной пленкой и стеклом предполагается алюминий и никель, как хорошо диффундирующие элементы.

За основу берутся последовательности технологических операций изготовления оптических волноводов на стекле и ниобате лития [1, 2]. Многообразие траекторий последовательностей технологических операций отражается в базе данных ЭВМ [3].

Для волноводов использовались предметные медицинские стекла. Отбор стекол на отсутствие пузырей, камней неоднородностей типа свили проводился на микроскопе МИМ-7. Перед проведением технологических операций стекло подвергалось очистке спиртом. Применение специальных очистителей на основе $K_2Cr_2O_7$ повышает адгезию пленки, но ухудшает волноводные свойства. Измерение профиля поверхности и локального коэффициента преломления проводится с помощью с помощью лазерного эллипсометра ЛЭМ-2. Анализ на модовость проводился изменением угла Брюстера эллипсометра от 45° до 85° . Для улучшения индикации профиля

эллисометр снабжается фокусирующим объективом. Сигнал с эллисометра принимается на осциллограф С1-54.

Стекла, отобранные для волноводов, подвергались восстановлению. Для этого стекло подвергалось термическому нагреву на ровной плоскости в печи в течение 2-4 часов при температуре, близкой к размягчению (450°C). Кроме восстановления, это способствовало термической полировке поверхности. После полировки интенсивность отраженного сигнала возрастала в 5-8 раз, а коэффициент преломления приповерхностного слоя уменьшался от 1,43 до 1,4. Для напыления берется химически чистый алюминий.

Напыление полимера на стекло проводилось на электроннолучевой установке А306 –05 с помощью электроннолучевого источника на основе высоковольтного тлеющего разряда. Выбор электронно-лучевого метода нанесения пленок для изготовления волноводов можно обосновать следующими фактами. Так как процесс проводится в вакууме, а испарение материала происходит из расплава, находящегося обычно в водоохлаждаемом тигле, то получаемые пленки характеризуются малым содержанием нежелательных примесей. Кроме того, высокая температура напыляемой поверхности, поддерживаемая прямым разогревом электронной бомбардировкой, стимулирует процесс термического разложения загрязнений и глубокое обезгаживание материала.

Для получения волновода важно еще в вакуумной камере обеспечить высокое качество пленки алюминия. Получение пленки алюминия, свободной от окисных и углеродных соединений зависит от доли кислорода в остаточной среде, определяемой скоростью десорбции кислорода из прогреваемых элементов вакуумной камеры и подложки. Анализ на состав остаточных газов проводился омега-тронным масспектрометром. Из анализа спектров газовой выделенной следует, что в процессе испарения паров алюминия реализуется механизм поверхностного и диффузионного газовой выделенной из материала испарителя. Изменение скорости подъема температуры от 80 до 200 градусов в секунду подтверждают эти предположения. Перед напылением вакуумная камера промывалась аргоном с целью смещения газовой фазных реакций в сторону формирования чистой пленки алюминия. Начальные стадии прогрева испарителя проводились по функциональному закону изменения температуры испарителя с целью обезгаживания материалов. Напыление проводилось при давлении 2×10^{-2} Па при температуре подложки 250°C . Скорость подъема температуры составляла 160 град/сек. Толщина алюминиевого покрытия, измеренная по пропусканию лазерного излучения, составляла 0,2-0,6 мкм.

Экспресс-анализ на волноводность проводится на эллисометре путем ввода излучения через ребро стекла.

Сканирование лазерного луча по поверхности полученного волновода показывает, что волноводность может носить локальный характер, что вероятно связано с формированием локальной неоднородности в стекломассе в процессе термической полировки и диффузии.

Сформированные пленки имеют локальный показатель преломления 1,52-1,56. Полученные волноводы реализуют одномодовый и маломодовый режим работы. Потери излучения составляют 2-5 дБ/см. Полученные волноводы имеют локальные участки со значительным поглощением на частоте световой волны, что вероятно связано с неоднородностью поверхностной плотности стекла. Наиболее обнадеживающие результаты получены при толщине алюминиевой пленки 0,2 мкм, подверженной отжигу в вакууме при температуре 300⁰С в течение 1 часа. При этом технологическая толщина пленки уменьшается и не превышает 0,05 мкм. Повышение качества волноводов при такой толщине подслоя вероятно связано с особенностями рассеяния светового излучения на атомах алюминия. Выявлены особенности отбора стекол для волноводов. Предложена гибкая траектория последовательностей технологических операций для типовых напылительных установок.

3.2 Технология изготовления волноводов на ниобате лития

Структура и свойства тонких пленок, полученных путем термического испарения в вакууме, в значительной мере определяется условиями конденсации и зависит от природы испаряемого вещества, соответствия его структуры и структуры подложки, природы подложки, степени ее отчистки, микрорельефа и температуры поверхности, степени вакуума и т.д. Адгезия пленки к подложке во многом должны быть удалены жиры, абсорбированная влага и другие загрязнения, препятствующие образованию прочного сплошного слоя. После очистки подложку необходимо промыть в проточной дистиллированной воде и просушить в потоке горячего воздуха. Затем подложка помещается в вакуумную камеру и производится процесс напыления.

Установка для электронно-лучевого напыления (см. рис.3.1) состоит из технологической камеры, системы откачки, тигля с испаряемым материалом, электронной пушки, заслонки для пара и подложки с приспособлениями для ее крепления и нагрева.

При бомбардировке поверхности титана электронным пучком существенная доля кинетической энергии электронов превращается в тепло и поверхность нагревается до такой температуры, что становится источником пара. В потоке пара размещают подложку, на которую конденсируется часть пара, то есть производится напыление.

Электронно-лучевые испарители состоят из электронной пушки и тигля. Часто их дополняют приспособлениями для подпитки расплава в тигле исходным материалом. Пример электронно-лучевого испарителя приведен на рис. 3.2.

Катод расположен вблизи испаряемого материала или тигля. Под действием ускоряющего напряжения между катодом и тиглем пучок электронов устремляется на испаряемый материал.

При прямом нагреве температура испаряемой поверхности самая

высокая, поэтому испарение материала проводят из водоохлаждаемых тиглей, обеспечивающих также испарение химически высокоактивных и тугоплавких материалов. Их изготавливают из материалов с низкой упругостью пара и химической инертностью к испаряемым материалам и газам в технологической камере при высокой температуре. Для испарения титана в процессе получения волноводов может быть использован кварцевый тигель, отвечающий этим условиям.

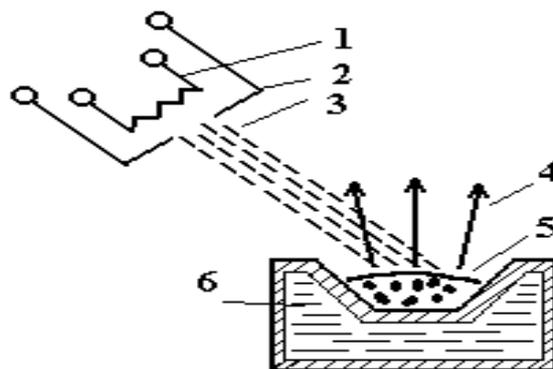


Рисунок 3.2 – Электронно-лучевой испаритель. 1 – катод, 2 – электрод под потенциалом катода, 3 – электронный пучок, 4 – поток пара, 5 – испаряемый материал, 6 – водоохлаждаемый тигель

Итак, одним из важнейших элементов, используемых в процессе изготовления волноводов, является электронно-лучевая пушка, с помощью которой производится термовакуумное напыление. В настоящее время существует множество электронных источников.

Наиболее подходящим по многим параметрам источником для использования в процессе изготовления волноводов является электронная пушка

Однако, наибольшее распространение получили катоды прямого накала из LaB_6 , обладающие высокой экономичностью и долговечностью при определенных условиях эксплуатации.

Катоды из LaB_6 малокритичны к вакуумным условиям, а по эмиссионным свойствам превосходят практически все известные типы катодов. Установлено, что в высокотемпературной области катоды из LaB_6 могут работать в условиях пониженного вакуума ($< 10^{-4}$ торр) и не изменяют своих эмиссионных свойств после многократного пребывания на воздухе (~ 100 раз). Также такие катоды не боятся аварийных отключений накала.

Для получения эмиссии с термокатода может использоваться электронный нагрев, эффективный в электронных пушках, работающих в условиях частых повышений давления, в парах обрабатываемого материала, при интенсивной ионной бомбардировке.

Недостаток электронного нагрева эмитирующего элемента состоит в наличии сильной обратной связи между температурой катода и эмиссионной

активностью первичного катода. Поддержание стабильного режима работы узла представляет собой сложную техническую задачу [6].

Высокочастотный нагрев. Также в качестве нагревательного элемента может служить цилиндрический многovitковый индуктор, навитый на высоковольтный металлокерамический изолятор, позволяющий существенно увеличить удельную мощность по сравнению с традиционными способами нагрева тел [8].

3.3 Расчет мощности источника

Формула для вычисления мощности источника выглядит следующим образом:

$$P = 4aLp\sigma / d^2, \quad (3.1)$$

где a - температуропроводность,
 L - удельная теплота испарения,
 p - плотность испаряемого материала,
 σ - глубина, на которой происходит максимальное газовыделение,
 d - диаметр пучка.

$$L = 1.97T_K \cdot \ln 82T_K, \quad (3.2)$$

где T_K - температура кипения испаряемого материала.

$$\sigma = (0.2, -0.4)R_T,$$

где R_T - величина пробега электрона вглубь испаряемого материала.

$$R_T = 2.2 \cdot 10^{-12} \cdot U^2 / p, \quad (3.3)$$

где U - величина приложенного напряжения,
 p - плотность испаряемого материала.

Таким образом, учитывая все формулы, получаем окончательную формулу для вычисления мощности источника:

$$P = \frac{3.17 \cdot 10^{-12} \cdot a \cdot T_K \cdot \ln(82 \cdot T_K) \cdot U^2}{d^2} \quad (3.4)$$

Подставляя исходные данные: $a \sim 10^{-4}$, $T_K \sim 2000$ К, $U=15$ кВ, $d = 1$ мм в формулу (3.4), получаем следующий результат:

$$P = \frac{3.17 \cdot 10^{-12} \cdot 10^{-4} \cdot 2000 \cdot \ln(82 \cdot 2000) \cdot 15000^2}{0.001^2} = 1700(\text{Вт})$$

С учетом потерь принимаем $P = 2$ кВт. Определим время напыления пленки. Удельная скорость испарения материала рассчитывается по формуле Ленгмюра:

$$V_Y = 4.4 \cdot 10^{-4} \cdot Ap \sqrt{\frac{M}{T}} \quad (3.5)$$

где A - коэффициент испарителя,
 p - упругость пара при данной температуре,
 M - молекулярная масса,

T – температура расплава.

Масса напыляемой пленки вычисляется по формуле:

$$m = \rho \cdot a \cdot b \cdot h, \quad (3.6)$$

где ρ – плотность испаряемого материала,

a и b – длина и ширина подложки соответственно,

h – толщина напыляемой пленки.

Задаваясь следующими данными: $A=1$, $p=1,33$ Па, $M=47,9$, $T=2000$ К, по формуле (3.5) находим удельную скорость испарения:

$$V_Y = 4.4 \cdot 10^{-4} \cdot 1.33 \cdot \sqrt{\frac{47.9}{2000}} = 9 \cdot 10^{-5} \text{ (г/(с} \cdot \text{см}^2 \text{))}$$

Зная, что $\rho=4,5$ г/см³, $a=5$ см, $b=1$ см, $h=0,5$ мкм, по формуле (3.6) находим массу пленки:

$$m = 4,5 \cdot 5 \cdot 1 \cdot 0,5 \cdot 10^{-6} = 0,0011 \text{ г}$$

3.4 Последовательность технологических операций

1. Подготовка поверхности подложки к процессу напыления: обезгаживание, промывка, химическая обработка, сушка.

2. Визуальная оценка качества испаряемого материала.

3. Монтаж рабочей камеры: установка и закрепление подложки, заправка тигля испаряемым материалом.

4. Откачка вакуумной камеры установки до рабочего давления производится сначала механическим, а затем диффузионным насосом. Время предварительной откачки камеры не превышает 5 мин. После этого включается нагрев диффузионного насоса, и производится его откачка механическим насосом до тех пор, пока он не выйдет на рабочий режим. Это время составляет около 35-40 мин.

5. Одновременно с началом откачки следует начать прогревать подложку. Так как ее необходимо нагреть до 250 °С, а скорость повышения температуры для стекла составляет 5 °С в минуту, то для нагрева требуется достаточно много времени. Однако это время можно несколько сократить, если поддерживать данную скорость постоянной до тех пор, пока температура подложки не достигнет 100 °С, а после чего повысить ее до 10 - 15 °С в минуту. (В данном эксперименте в качестве нагревателя подложки может использоваться инфракрасная лампа, которая дает существенно меньшие газовыделения и потребляет гораздо меньшую мощность по сравнению с традиционными проволочными нагревателями). Время нагрева подложки до температуры 250 °С составляет примерно 40-45 мин. И, таким образом, нагрев подложки заканчивается примерно к моменту достижения рабочего давления в вакуумной камере.

6. После достижения рабочего давления 0.01 Па и заданной температуры подложки 250 °С производится процесс напыления титановой пленки до толщины 0,5 мкм.

7. Далее может производиться легирование кристалла. Для этого

карусель с подложкой следует переместить под другой испаритель. В качестве легирующего материала может быть использовано железо.

После окончания напыления производится остывание образца в вакуумной камере. Далее проводится закрывание вакуумных затворов. Затвор, на выходе диффузионного насоса остается открытым до полного остывания высоковакуумного насоса.

3.5 Задание на работу

1. Задаваясь объемом камеры $0,05 \text{ м}^3$ рассчитать на ЭВМ необходимую производительность откачных средств (ПК-32).

2. Рассчитать скорость испарения и толщину пленки за время проведения процесса.

3. Рассчитать КПД процесса.

4. Ознакомиться с данными на сертификацию материала испарителя, навески и подложки. Сделать заключение о их соответствии (несоответствии) для проведения процесса (ПК 25).

3.6 Методические указания по выполнению работы

Работа охватывает разделы: проектирование технологий, вакуумная технология, технология подготовки и сертификации материалов, пленочная технология. Расчеты базируются на фрагментах задач из разделов вакуумной и пленочной технологий. Следует обратить внимание на рациональное распределение времени при проведении лабораторной работы, поскольку высоковакуумный насос выходит на режим за время около одного часа. За такое же время он сходит с режима.

3.7 Содержание отчета

Отчет должен содержать:

- 1) описание цели эксперимента;
- 2) расчетную часть;
- 3) схему вакуумной системы;
- 4) алгоритм включения и выключения установки;
- 5) схему устройства формирования покрытий, принцип работы;
- 6) экспериментальные зависимости;
- 7) теоретические вопросы по терминологии;
- 8) список литературы.

4 Рекомендуемая литература

1. Данилина Т.И. Смирнова К.И., Илюшин В.А., Величко А.А. Процессы микро- и нанотехнологии: учебное пособие / Томск, Томский

государственный университет систем управления и радиоэлектроники, 2005.– 316 с., ISBN 5-86889-244-5

2. Орликов Л.Н. Технология материалов и изделий электронной техники: методические указания к лабораторным работам. – Томск: Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, 2007. – 79 с.

3. Орликов Л.Н. Технология материалов и изделий электронной техники: Методическое пособие. – Томск: Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, 2009. – 400 с.

4. Оптическое приборостроение: Учебное пособие для вузов / И. Г. Половцев, Г. В. Симонова; ред.: И. В. Самохвалов; Федеральное агентство по образованию, Томский государственный университет, Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН. - Томск: Издательство Томского университета, 2004. ISBN 5-94621-148-X

5. Материалы электронной техники: Учебник для вузов / Владимир Васильевич Пасынков, Валерий Сергеевич Сорокин. - 4-е изд., стереотип. - М. : ДМК, 2002; СПб. : Лань, 2002. - 368 с. - ISBN 5-9511-0011-9 (в пер.)

Учебное пособие

Орликов Л.Н.

Исследование технологии изготовления оптического волновода

Методические указания к лабораторной работе
по дисциплине «Основы технологии
оптических материалов и изделий»

Усл. печ. л. 0.88 . Препринт
Томский государственный университет
систем управления и радиоэлектроники
634050, г.Томск, пр.Ленина, 40