

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 длинны

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 ( $220^{\circ}\text{C}$ ) 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  $\text{Li}_2\text{O}$  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  $\text{Li}_2\text{O}$  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  $\text{Li}_2\text{O}$  при  $600^\circ\text{C}$  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.

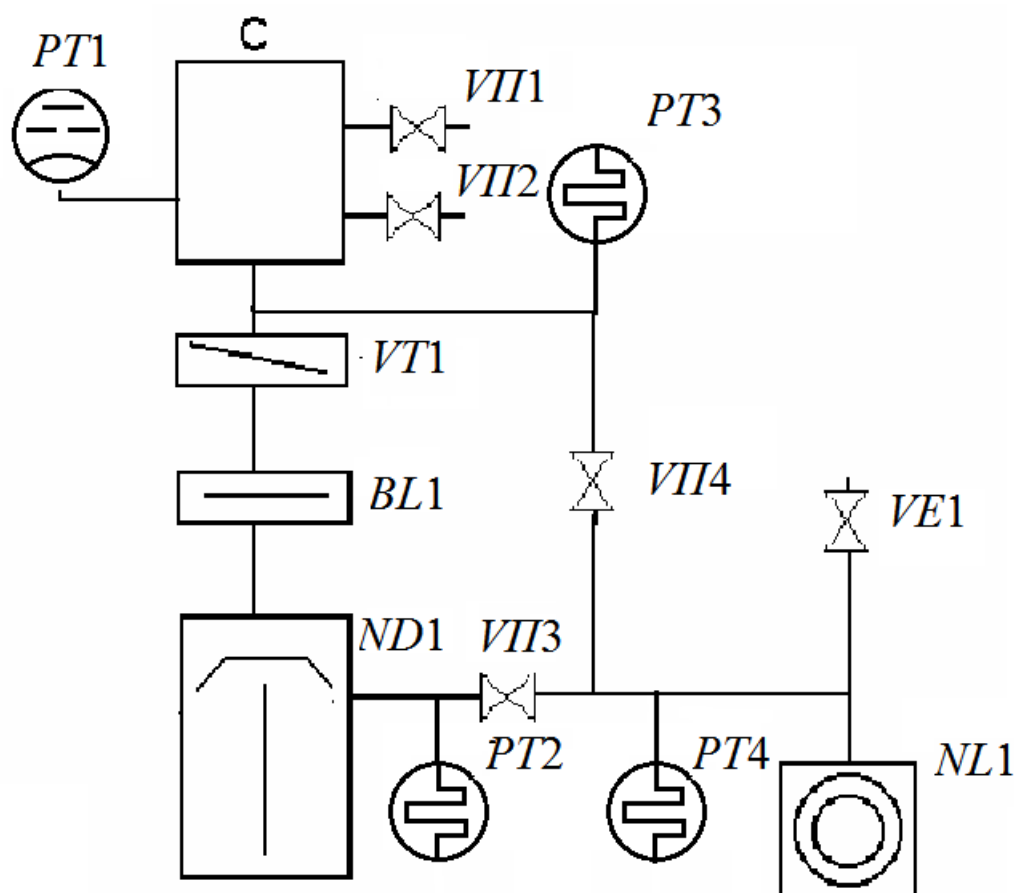


Рисунок 3.1 – Схема вакуумной установки



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  $45^{\circ}$  до  $85^{\circ}$ . 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 ( $450^{\circ}\text{C}$ ). 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 фазы 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  $2 \times 10^{-2}$  Па при температуре подложки  $250^{\circ}\text{C}$ . 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 300<sup>0</sup>С 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.

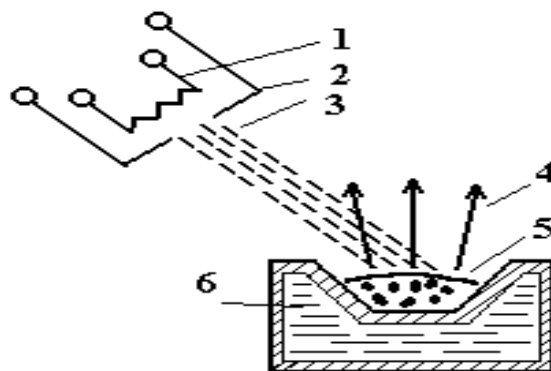


Рисунок 3.2 – Электронно-лучевой испаритель. 1 – катод, 2 – электрод под потенциалом катода, 3 – электронный пучок, 4 – поток пара, 5 – испаряемый материал, 6 – водоохлаждаемый тигель

Итак, одним из важнейших элементов, используемых в процессе изготовления волноводов, является электронно-лучевая пушка, с помощью которой производится термовакuumное 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  $\text{LaB}_6$ , обладающие высокой экономичностью и долговечностью при определенных условиях эксплуатации.

Катоды из  $\text{LaB}_6$  малокритичны к вакуумным условиям, а по эмиссионным свойствам превосходят практически все известные типы катодов. Установлено, что в высокотемпературной области катоды из  $\text{LaB}_6$  могут работать в условиях пониженного вакуума ( $< 10^{-4}$  торр) и не изменяют своих эмиссионных свойств после многократного пребывания на воздухе ( $\sim 100$  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,  
 $\sigma$  - 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:

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

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  $\rho$  – 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/см<sup>3</sup>,  $a=5$  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