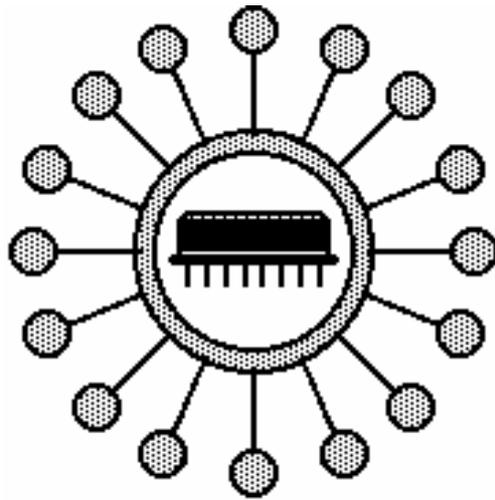




В.П. Иванов , В.А. Пручкин

**ФИЗИЧЕСКИЙ
ЭКСПЕРИМЕНТ
В МИКРОЭЛЕКТРОНИКЕ**



• ИЗДАТЕЛЬСТВО ТГТУ •



В.П. Иванов , В.А. Пручкин

**ФИЗИЧЕСКИЙ
ЭКСПЕРИМЕНТ
В МИКРОЭЛЕКТРОНИКЕ**

Одобрено учебно-методическим советом по направлению 5511 (Проектирование и технология электронных средств) и учебно-методическими комиссиями по специальностям 2008 (Проектирование и технология РЭС) и 2205 (Проектирование и технология ЭВС) в качестве методического пособия для студентов, обучающихся по направлению 5511 и специальностям 2008 и 2205.

Тамбов
• Издательство ТГТУ •
2004

УДК 3844.1я73-5Ф
ББК 621.382
Ф48

Рецензенты:

Доктор физико-математических наук, профессор
В.А. Федоров

Кандидат технических наук, доцент
А.М. Савельев

Иванов В.П. , Пручкин В.А.

Ф48 Физический эксперимент в микроэлектронике: Метод. пособие. Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2004. 72 с.

В пособии дано описание лабораторных работ по экспериментальным методам, применяемым в лаборатории технологии деталей РЭС и микроэлектроники.

Предназначено для студентов 3 курса дневного отделения специальности 2008.

УДК 3844.1я73-5Ф

ББК 621.382

© Иванов В.П., Пручкин В.А.,
2004

© Тамбовский государственный
технический университет
(ТГТУ), 2004

Учебное издание


ИВАНОВ Владимир Петрович,
ПРУЧКИН Владимир Аркадьевич

ФИЗИЧЕСКИЙ ЭКСПЕРИМЕНТ
В МИКРОЭЛЕКТРОНИКЕ

Методическое пособие

Редактор В.Н. Митрофанова
Инженер по компьютерному макетированию Т.А. Сынкова

Подписано к печати 13.09.2004

Формат 60 × 84/16. Гарнитура Times. Бумага офсетная. Печать офсетная.

Объем: 4,19 усл. печ. л.; 4,0 уч.-изд. л.

Тираж 100 экз. С. 616^М

Издательско-полиграфический центр
Тамбовского государственного технического университета
392000, Тамбов, ул. Советская, 106, к. 14

ВВЕДЕНИЕ

Основной задачей методического пособия является освоение студентами практических навыков в осуществлении специфических технологических операций и приемов, применяемых при изготовлении микроэлектронных устройств и других деталей радиоэлектронных средств (РЭС); изучение оборудования, применяемого в экспериментальной практике.

В результате изучения дисциплины студент должен овладеть теоретическими и практическими методами научной и технической фотографии, способами создания, измерения и поддержания вакуума, приемами обработки металлов, стекла и керамики, изготовлением и использованием датчиков для контроля температуры.

Лабораторная работа 1

ЗНАКОМСТВО С ФОТОТЕХНИКОЙ

Цель работы: 1) ознакомиться с приборами и принадлежностями, применяемыми при фотографировании;

2) освоить приемы работ при зарядке фотоматериалов в фотографические устройства и приспособления для химической обработки фотоплёнок и фотопластин.

Приборы и принадлежности: фотоаппараты, фотокассеты, фотобачки, фотоплёнка.

Методические указания

Фотография – это совокупность методов получения стабильных во времени изображений предметов и оптических сигналов на светочувствительных слоях (СЧС). Изображения закрепляются за счет фотохимических или фотофизических изменений, возникающих в этих слоях, под действием излучения, испускаемого или отражаемого объектом фотографии.

Общая последовательность действий в фотографии не зависит от выбора СЧС и процесса получения стабильного изображения на нем. Первая стадия включает создание на поверхности СЧС распределения освещенностей, соответствующего изображению или сигналу.

I Стандартные фото- и кинокамеры редко применяются в научной и промышленной практике в том виде, как ими пользуются в любительской и художественной фотографии и кинематографии. Как правило, это – комбайны, включающие в себя фото- и кинокамеру, соединенных с помощью специальных передающих устройств (насадок) с тем или иным устройством, строящим изображение. Главными устройствами, фиксирующими изображение на СЧС являются фотоаппараты и кинокамеры.

Основными узлами любого фотоаппарата и кинокамеры являются: объектив, затвор и камера для установки и перемещения фотоплёнок и фотопластин. На рис. 1.1 показана схема зеркального фотоаппарата типа «Зенит» в момент выбора объекта для фотографирования и наведения на резкость с помощью видоискателя. При нажатии на пусковую кнопку 8 фотоаппарата зеркало 2 поворачивается вверх, пропуская лучи из объектива 1 к фотоплёнке, закрытой шторкой фотозатвора 3. Взведение затвора и перемотку нового кадра плёнки делают с помощью рычага, расположенного сзади пусковой кнопки (на рис. 1.1 не виден).

Фотозатворы предназначены для ограничения времени действия излучения на фотоматериал. Обычно затвор состоит из механизмов заслонок, двигателя затвора, механизма выдержек, автоспуска и синхроконтakta. Один из наиболее распространенных типов затворов фотоаппаратов показан на рис. 1.2.

Одновременно с взведением затвора перемещается фотоплёнка внутри камеры, т.е. идет установка нового, неэкспонированного кадра. Открывание затвора осуществляется путем нажатия кнопки, расположенной на корпусе фотоаппарата.

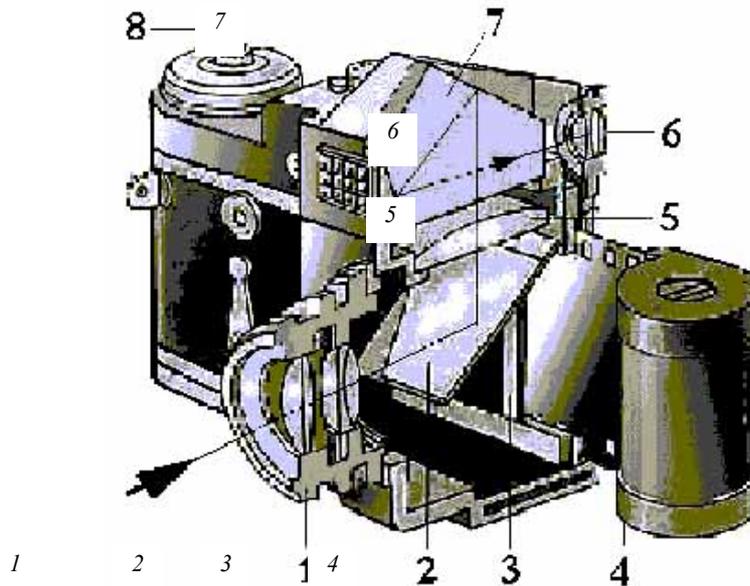


Рис. 1.1 Схема зеркального фотоаппарата:

1 – объектив; 2 – зеркало; 3 – шторка затвора; 4 – кассета; 5 – собирающая линза; 6 – окуляр видоискателя; 7 – пентапризма; 8 – спусковая кнопка

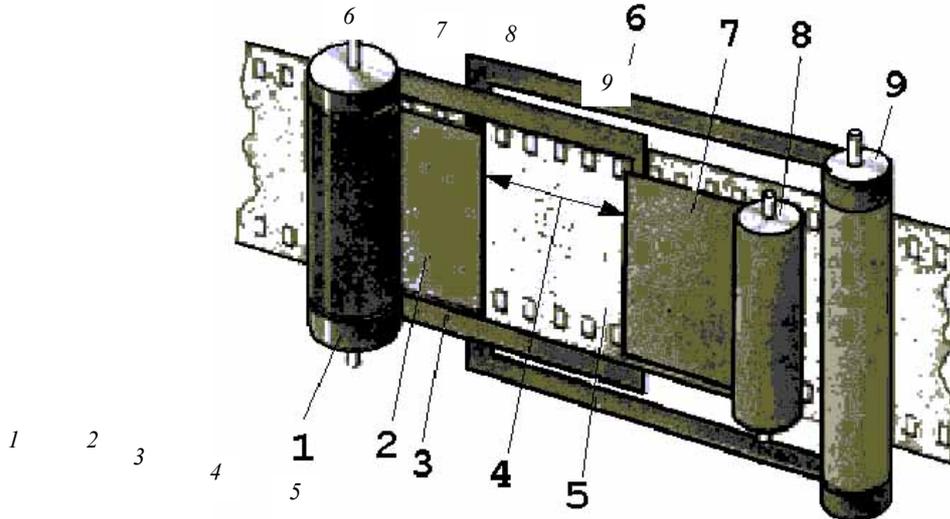


Рис. 1.2 Схема устройства и действия шторно-щелевого затвора:

1 – барабан; 2, 7 – светонепроницаемые шторки (вторая и первая); 3, 6 – тесемки первой и второй шторок; 4 – щель; 5 – пленка; 8, 9 – гильзы шторок

Оптические схемы объективов (за исключением специальных) показаны на рис. 1.3.

Нормальный объектив, используемый для большинства видов съемки, имеет фокусное расстояние, близкое к размеру диагонали кадра (угол поля зрения $40\ldots 50^\circ$), широкоугольный – меньше, длиннофокусный – больше. Широкоугольный объектив применяется при фотографировании интерьеров, архитектурных ансамблей и др. видов съемки в условиях ограниченного пространства («Мир-38»).

Сверхширокоугольный объектив характеризуется углом поля зрения, равным 83° и более, объектив типа «рыбий глаз» – 180° и более.

У объектива «рыбий глаз» впереди положительных компонентов размещается отрицательная линза, причем расстояние между ними должно быть достаточно большим; угол 180° получается за счет придания указанной линзе менiscoобразной формы, вогнутой поверхностью направленной к объективу («Зодиак-8»). Отличительной особенностью такого объектива является наличие бочковидной дисторсии: в зависимости от угла расположения предмета съемки относительно оптической оси объектива масштаб его изображения изменяется. Длиннофокусный объектив характеризуется углом поля зрения 39° и ме-

нее, сверхдлиннофокусный – 9° и менее. Длиннофокусные объективы применяются для съемки удаленных предметов и разделяются на собственно длиннофокусные и телеобъективы.

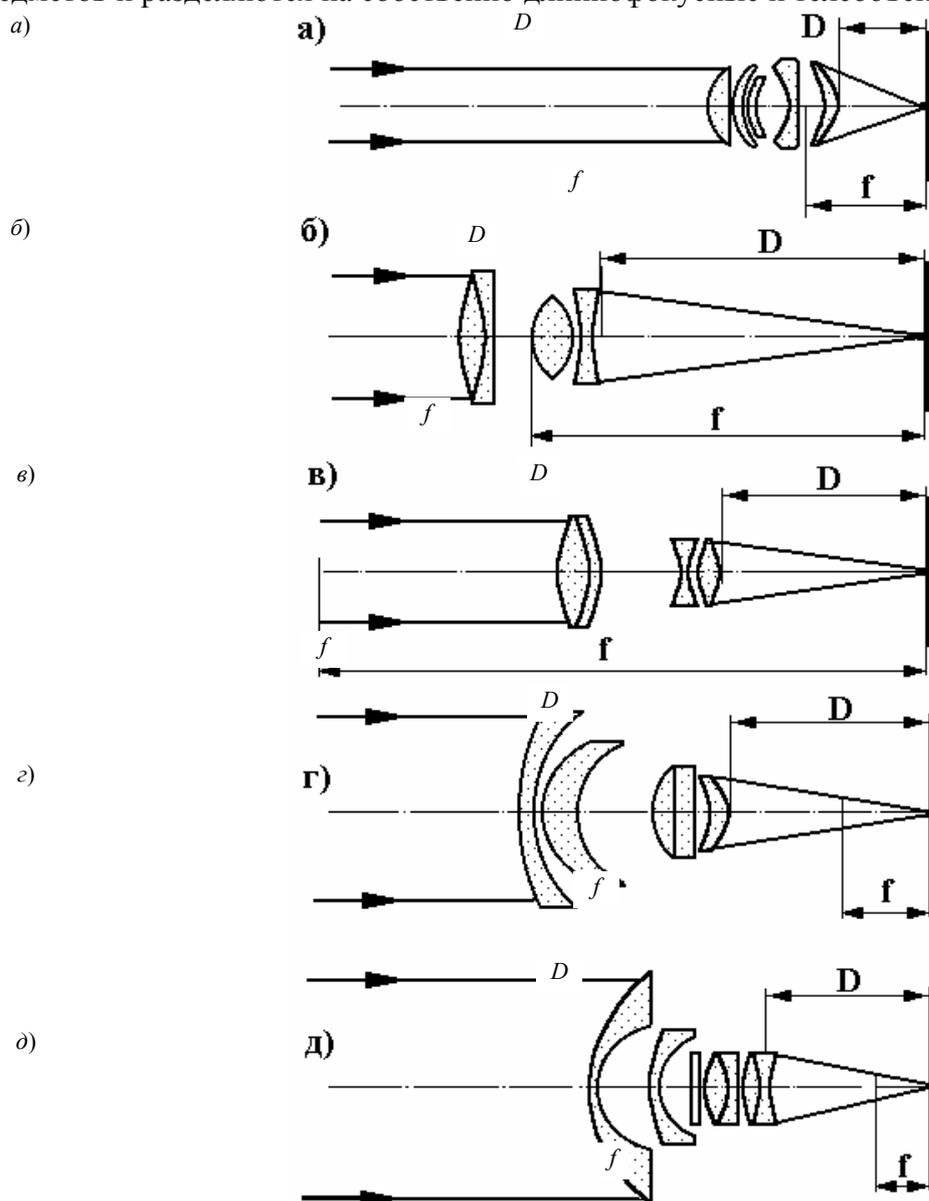


Рис. 1.3 Оптические схемы объективов:

a – нормальный; *б* – длиннофокусный; *в* – телеобъектив;
г – широкоугольный (ретрофокусный); *д* – «рыбий глаз»

II В современной научной и технической фотографии наиболее широко применяются малоформатные камеры с размером кадра 24×36 мм. Для размещения и подачи фото пленки используются металлические или пластмассовые разъемные кассеты, вмещающие 1,60 м пленки, на которой можно получить 36 кадров. На рис. 1.4 показан процесс зарядки кассеты фото пленкой.

Металлическая кассета состоит из четырех частей: корпуса, катушки и двух крышек (одну из них обычно не снимают с корпуса). Корпус пластмассовой кассеты обычно отливается вместе с одной из крышек; вторая крепится клиновым поворотным замком.

Фото катушка имеет в верхней части отверстие с шлицами для установки вала обратной перемотки пленки фотокамеры. В нижней части катушка имеет направляющий выступ – бобышку. Для крепления пленки в катушке имеется прорезь с клиновым или пружинным фиксатором. В месте замыкания корпуса на него наклеиваются две полосы бархата для обеспечения светонепроницаемости кассеты.

Зарядку и разрядку кассеты можно производить при красном свете или в полной темноте (в зависимости от состава эмульсии пленки, определяющего ее светочувствительность).

Для зарядки кассеты необходимо обрезать конец пленки на ширину 10 мм на длину 10...15 мм, пропустить его в щель и зажать пружинным зажимом. В случае клинового зажима язычок пленки (он должен быть 15...20 мм) заправляется в прорезь, сгибается вдвое на конце и обратным движением заклинивается в ней. При этом, если держать катушку бобышкой к себе, светочувствительный слой пленки должен быть обращен вниз. Рекомендуется держать катушку в левой руке. Намотать пленку вращением катушки против хода часовой стрелки. Пленку следует осторожно держать за края, не касаясь пальцами ее светочувствительного слоя. После этого катушку с пленкой вставить в корпус так, чтобы конец пленки выходил наружу между бархотками, и слегка нажав пальцами корпус, установить вторую крышку. При правильной зарядке пленка выходит параллельно плоской части корпуса по часовой стрелке (смотреть со стороны бобышки).

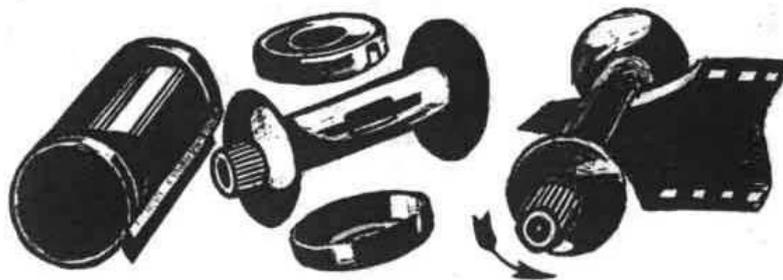


Рис. 1.4 Зарядка кассеты фотопленкой

Дальнейшие операции с кассетой можно производить при дневном свете.

Примечание: Светочувствительный слой пленки находится на ее вогнутой стороне.

III Для химической обработки фотопленок используются фотобачки (рис. 1.5). Односпиральный бачок рассчитан на пленку длиной 1,65 м. Он состоит из резервуара 1, крышки 2 и разъемной катушки 3, состоящей в свою очередь из верхнего плоского диска 4 и нижнего плоского диска со спиралью 5. Для вращения пленки во время проявления катушка снабжена рукояткой, проходящей сквозь отверстие в центре крышки и несколько выступающей наружу. Емкость бачка 300 мл.

Зарядку бачка пленкой производить в темноте или при освещении, к которому не чувствительна эмульсия пленки. Наполнение бачка растворами и их слив можно производить на свету. Для зарядки бачка (рис. 1.6) следует отделить верхний плоский диск катушки от нижнего, имеющего спираль. Во избежание поломок верхний диск необходимо вначале ослабить поворотом его вправо и влево, после чего отделить от нижнего. Конец проявляемой пленки вставить эмульсией наружу в продольный вырез, имеющийся во втулке верхнего диска и обе части катушки вновь соединить (без лишних усилий!). Прямолинейный выступ на втулке нижнего диска должен при этом войти в вырез втулки верхнего диска. В результате конец пленки окажется прочно зажатым между стенками втулок. Скрепив конец пленки с катушкой, начинают наматывать пленку на катушку, вращая последнюю против часовой стрелки и держа ролик пленки под некоторым углом в плоскости дисков катушки. Пленка должна легко и бесшумно располагаться между витками спирали. Треск, царапанье, заедание пленки указывает на неправильную намотку. В этом случае пленку следует смотать и начать намотку сначала, устранив указанные дефекты. Закончив намотку необходимо надежно посадить конец пленки в спираль.

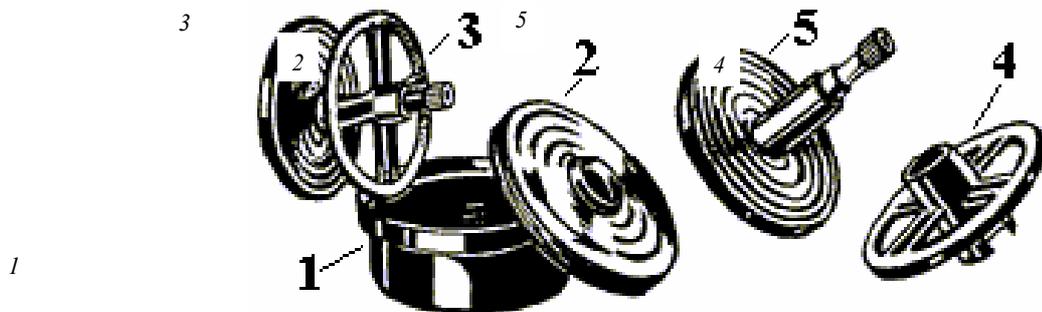


Рис. 1.5 Устройство односпирального проявочного фотобачка:

1 – резервуар; 2 – крышка; 3 – разъемная катушка;
4 – верхний диск; 5 – диск со спиралью

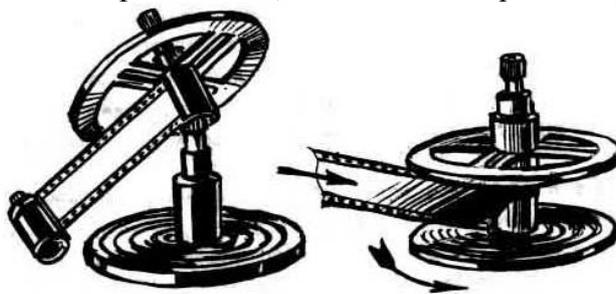


Рис. 1.6 Зарядка пленки в катушку односпирального бачка

После этого катушку с пленкой опустить в резервуар бачка и закрыть бачок крышкой так, чтобы выступ на боковой стороне крышке вошел в канавку сливного желобка. Несоблюдение этого условия ведет к засветке пленки.

Дальнейшие операции (химико-фотографическую обработку пленки) можно производить на свету. Наполнить бачок проявителем, выдержать необходимое время, слить проявитель и заполнить бачок водой. Сполоснув пленку, воду слить и заполнить бачок закрепителем. Наполнение бачка производить не сильной струей. При всех операциях катушку следует медленно вращать при помощи рукоятки в направлении стрелки, указанной на крышке бачка.

При сливании и наполнении жидкостей необходимо придерживать крышку, так как ее ослабление приводит к засветке пленки. По окончании фиксирования крышку можно снять. Для промывки пленки бачок в открытом виде подставить под слабую струю воды. После промывки пленку смотать с катушки бачка и подвесить с помощью фотозахимов для просушки. Не следует прибегать к форсированным методам сушки (нагретые поверхности, горячий воздух и т.д.).

При наполнении бачка растворами и при обработке пленки следить за тем, чтобы бачок стоял на горизонтальной ровной поверхности. Работая с пленкой, нельзя прикасаться к ее эмульсионной поверхности.

Порядок выполнения работы

1 Ознакомиться с типом и общим устройством предложенного руководителем фотоаппарата. Открыть заднюю крышку камеры, зарядить заранее подготовленную кассету с фотопленкой. Закрыть крышку, установить любое время экспозиции, выбрать величину диафрагмы и произвести наводку на резкость любого объекта. Убедиться в срабатывании затвора и результат резкого изображения объекта представить руководителю работы.

2 Произвести зарядку засвеченной пленки в кассету на свету. Убедившись в правильности сделанных операций зарядить незасвеченную пленку в темноте. Эта кассета будет использована при выполнении реальной микро- или макрофотосъемки.

3 Произвести зарядку засвеченной фотопленки в фотобачок на свету, убедиться в приобретенных навыках. Все это повторить в полной темноте и результат представить руководителю работ. Критерием правильной зарядки является отсутствие межспирального слипания соседних слоев фотопленки и легкое вращение катушки в бачке.

Содержание отчета

Отчет должен содержать краткое описание изученных принадлежностей и приспособлений, последовательность операций с ними.

Контрольные вопросы

- 1 Устройство и принцип работы фотоаппарата.
- 2 Устройство и методы зарядки фотокассеты и фотобачка.

Литература: [1, 2].

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 2

ПРИГОТОВЛЕНИЕ ХИМИКО-ФОТОГРАФИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

РАСТВОРОВ

ДЛЯ

Цель работы: ознакомиться с составами растворов для обработки фотоматериалов и методами их приготовления.

Приборы, принадлежности и материалы: весы аналитические, разновесы, мешалка электромагнитная, лабораторная посуда, фотореактивы.

Методические указания

Химико-фотографическая обработка включает целый ряд операций обработки фотоматериалов. К основным этапам относятся:

- проявление скрытого изображения в светочувствительном слое (СЧС);
- прекращение проявления в стоп-растворах;
- промывка;
- закрепление проявленного изображения (фиксирование или стабилизация).

Кроме того, иногда применяют вспомогательные операции, которые позволяют устранить недочеты основных операций и улучшить качество изображения на фотоматериале: усиление и ослабление, тонирование, отбеливание и чернение, гиперсенсibilизация и латенсификация СЧС, дубление.

Протекание всех этих процессов обусловлено химическими реакциями в СЧС и обрабатываемых растворах.

Чаще всего в фотохимии используют водные растворы. Это связано с тем, что растворенные в воде химические соединения находятся в активной форме. Под действием воды желатиновая основа СЧС набухает, что облегчает проникновение реактивов вглубь фотоматериала и ускоряет ход реакций.

Водопроводная вода не всегда пригодна для приготовления фоторастворов. Она содержит ионы кальция, магния, железа, хлора и др., которые могут вызвать образование кальциевой сетки и других дефектов изображения. Ее применяют лишь для приготовления фиксирующих растворов. После кипячения или введения смягчителей (трилон Б или трилон А) воду можно использовать для получения щелочных проявителей и ослабляющих растворов. Для большинства проявляющих, тонирующих или усиливающих растворов применима только дистиллированная вода.

К фотореактивам также предъявляют высокие требования по чистоте. Различают технические, чистые (**ч**), чистые для анализа (**чда**), химически чистые (**хч**) и особо чистые (**осч**) химикаты. В фоторастворах используют реактивы с чистотой не хуже «**ч**» или марки «**фото**» с не истекшим сроком годности. О качестве можно судить по цвету и однородности вещества, сравнивая их со справочными данными.

Химический состав проявителя или закрепителя задается рецептом, в котором указывается количество твердых химикатов в граммах, а жидких – в миллилитрах (см^3) в расчете на 1 литр готового фотораствора. При взвешивании твердых химикатов используют лабораторные весы с точностью ± 10 мг. Для жидкостей следует применять мерные цилиндры, стаканы (точность ± 1 мл) и пипетки ($\pm 0,1$ мл).

Фоторастворы – это сложные многокомпонентные системы, свойства которых могут зависеть не только от их химического состава, но даже от порядка растворения входящих в них компонентов. Некоторые вещества плохо растворяются в воде в присутствии других компонентов (метол в концентрированном растворе сульфита натрия), или могут окисляться в теплой воде (гидрохинон в отсутствие Na_2SO_3) и т.д. Поэтому порядок растворения химикатов обычно задается в рецепте фотораствора. Каж-

дое вещество следует вводить только после полного растворения предыдущего. Обычно для растворения берут 60...70 % требуемой воды с температурой 40...60 °С и в конце процесса доливают оставшейся до расчетного объема и температуры 18...20 °С.

Основные растворы для химико-фотографической обработки

Для осуществления негативного и позитивного процесса обработки фотоматериалов можно использовать готовые промышленные составы по стандартным рецептам, приводимым в любом справочнике для фотолюбителя. Однако, для достижения максимально желаемых эффектов, свойственных научно-технической фотографии, специалисту приходится в широких пределах варьировать процентное содержание компонентов и вводить новые. Для черно-белой фотографии для обработки фото-материалов основными являются следующие – проявители и закрепители.

Проявители содержат проявляющие, ускоряющие, противобулавливающие, и сохраняющие вещества.

В зависимости от скорости восстановления серебра в СЧС бывают медленные, нормальные, быстрые и сверхбыстрые проявители.

По характеру влияния на чувствительность и структуру слоя различают

- выравнивающие мелкозернистые с низкой скоростью проявления;
- универсальные (нормальные) с хорошей градацией тонов и проработкой деталей;
- контрастные и высококонтрастные проявители.

В последних эффект достигается тем, что проявляются только сильно экспонированные участки СЧС, а в менее засвеченных серебро почти не восстанавливается. Это хорошо для штриховых рисунков, а в тоновых – можно потерять детали изображения.

Проявляющие вещества представляют собой органические восстановители.

• Метол (N-метилпарааминофенолсульфат) – порошок белого или желтовато-белого цвета, растворимость 48 г/л воды при 18 °С, мягкий медленно работающий восстановитель; токсичен, может вызывать раздражение.

• Гидрохинон (парадиоксибензол) – белого цвета, 80 г/л, увеличивает контрастность изображения за счет более интенсивного проявления средне и сильно засвеченных кристаллов бромида серебра; может вызывать дерматиты.

• Фенидон (1-фенил-3-пиразолидон) – белого или кремовато-серого цвета, 20 г/л, заменитель метола; мало токсичен.

• Амидол (2,4-диаминофенол) дигидрохлорид – белого или сероватого цвета, 250 г/л, обеспечивает глубокое проявление, работает в кислых растворах; токсичен.

Коричневый или черный цвет этих фотореактивов указывает на уменьшение фотоактивности из-за длительного хранения.

Для ускорения работы проявляющих веществ необходимо создать щелочную среду – уменьшить концентрацию ионов водорода H^+ в растворе до $pH = 8,0...9,0$ – для выравнивающих, до $pH \geq 12,0$ – для сверхбыстрых проявителей. Для этого используют углекислый калий (поташ), карбонат натрия (сода), тетраборат натрия (бура) или едкие щелочи (NaOH, KOH).

Признаком непригодности этих белых порошков является затвердевание карбонатов и разжижение едкого кали и натра. Все эти вещества при попадании на слизистую оболочку вызывают раздражение и ожоги.

Сохраняющие вещества предотвращают окисление кислородом проявляющих компонентов при изготовлении, хранении и в процессе использования раствора. В качестве антиоксиданта обычно вводят сульфит натрия (белый порошок, растворимость 208 г/л, неактивен в случае затвердевания; может вызывать воспаление слизистых дыхательных путей).

В процессе проявления восстановлению может подвергаться часть неэкспонированных кристаллов галогенида серебра. Это приводит к появлению фотографической вуали, снижающей качество изображения.

Противобулавливающие вещества увеличивают избирательность проявляющих компонентов. Часто используют бромистый калий (белый порошок, растворимость 655 г/л воды; раздражающее действие). Бензотриазол (белый, растворимый в воде порошок; гепатоген) действует сильнее, но заметно снижает чувствительность, замедляет проявление и увеличивает контрастность.

Назначение **фиксажа** – перевести непроявленные кристаллы галогенидов серебра в водорастворимые, бесцветные, устойчивые к свету соединения.

Основным компонентом фиксирующих растворов является пяти-водный тиосульфат натрия (гипосульфит) – белый кристаллический порошок, растворимость в воде – 414 г/л при 20 °С, склонен к сульфурзации (распад с выделением серы в сильно кислой среде). Признаком старения его является появление аморфного белого порошка. Гипосульфит воспаляет слизистые оболочки дыхательных путей. Скорость фиксирования растет с увеличением концентрации гипосульфита и максимальна при 300...400 г/л (в стандартном фиксаже обычно 200...250 г/л). Для более быстрого (примерно в 2 раза) вымывания из слоя галогенидов серебра используют тиосульфат аммония. Для предотвращения сульфурзации в состав фиксажа вводят сульфит натрия.

Часто применяют не простые, а **кислые фиксажи**, которые быстро прекращают процесс проявления СЧС. Такие растворы долго хранятся даже при неоднократном использовании. Увеличение кислотности

($pH \leq 4,0$) препятствует окрашиванию слоя и фиксажа продуктами окисления проявителя. Для этого используют кислые соли (метабисульфиты или ацетаты натрия и калия) или растворы уксусной и серной кислоты. Все эти кислые добавки могут вызывать раздражение или ожог.

Порядок выполнения работы

1 Приготовить метол – гидрохиноновый проявляющий раствор для фототехнических пленок следующего состава.

Проявитель ФТ-2

- 1) Сульфит натрия безводный 10,0 г.
 - 2) Метол 5,0 г.
 - 3) Сульфит натрия безводный 30,0 г.
 - 4) Гидрохинон 6,0 г.
 - 5) Калий углекислый безводный 40,0 г.
 - 6) Калий бромистый 6,0 г.
 - 7) Вода дистиллированная до 1000 мл.
- $pH = 9,9...10,2$

2 Приготовить метол – гидрохиноновый проявляющий раствор для фотобумаг:

Проявитель бумажный

- 1) Метол 1,0 г.
 - 2) Сульфит натрия безводный 1,0 г.
 - 3) Гидрохинон 5,0 г.
 - 4) Натрий углекислый безводный 20,0 г.
 - 5) Калий бромистый 1,0 г.
 - 6) Вода дистиллированная до 1000 мл.
- $pH = 10,4 \pm 1$ при 20 °С

Для ускоренной химико-фотографической обработки черно-белой фотобумаги общего назначения можно использовать другой состав проявителя:

ПРОЯВИТЕЛЬ БУМАЖНЫЙ

- 1) Фенидон 0,5 г.
- 2) Гидрохинон 10 г.
- 3) Сульфит натрия безводный 26 г.
- 4) Карбонат калия 40 г.

- 5) Бромид калия 0,5 г.
6) Вода до 1000 мл.
pH = 10,1 ± 0,1 при 20 °C

• На лабораторных весах ВЛ-200 сделать навески необходимых реактивов. Для этого проверить точность установки весов по горизонтали с помощью отвеса. Плавным поворотом рукоятки арретира по часовой стрелке привести весы в рабочее положение и проверить равновесие рычага – стрелка должна указывать на нуль или колебаться около него на равные расстояния в ту и другую сторону. Если этого нет, весы следует отрегулировать поворотом специальных гаек – грузиков на коромысле.

• Навеску реактива производить на лист белой чистой бумаги или кальки, положенный на левую чашку весов, с помощью ложки или шпателя из пластмассы или нержавеющей стали. Масса бумаги компенсируется установкой на правую чашку такого же куска бумаги. Для предотвращения рассыпания навески рекомендуется загнуть края листа так, чтобы он приобрел форму кюветы. Каждый химикат взвешивается на отдельной бумаге. Брать гирьки следует только пинцетом. Запрещено оставлять их на поверхности стола или чашек после прекращения работы. Установку разновесов и засыпку реактивов для получения необходимой массы производить только при выключенном арретире весов.

• В чистый стеклянный или пластмассовый сосуд емкостью 1000 мл налить 600...700 мл дистиллированной воды, нагретой до температуры 30...50 °C. Для ускорения процесса растворения поместить внутрь сосуда активатор (стальной стержень, залитый в пластмассу) и установить емкость на стол магнитной мешалки. Включить мешалку тумблером: при этом внутри ее корпуса начинает вращаться магнит, приводящий своим полем в движение активатор. Поворотом рукоятки резистора увеличить скорость его устойчивого вращения.

• Высыпать в воду и растворить 10...20 % навески сульфита натрия (можно использовать воронку).

• Растворить весь метол.

• Высыпать и растворить оставшийся сульфит натрия. Безводная соль склонна к комкованию при растворении, поэтому порции порошка должны быть небольшими (можно наклонить лист с химикатом и подавать его тонкой струйкой).

• Растворить гидрохинон, затем после полного растворения по очереди поташ и бромид калия.

• Добавить в сосуд холодной дистиллированной воды до 1000 мл и надежно его закупорить. Написать этикетку с названием раствора и указанием даты его приготовления. Время созревания проявителя – 1,5...2,0 ч.

• Проверить pH раствора с помощью индикаторной бумаги.

3 Приготовить кислый фиксирующий раствор для фототехнических пленок.

Фиксаж кислый

1) Тиосульфат натрия кристаллический 250,0 г.

2) Метабисульфит калия 30,0 г.

3) Вода дистиллированная до 1000 мл.

pH = 4,0...4,5

• Налить в чистый стеклянный или пластмассовый сосуд емкостью 1000 мл дистиллированной или кипяченой воды с температурой 50...60 °C в количестве 500...750 мл.

• Растворить на магнитной мешалке гипосульфит небольшими порциями.

• Растворить метабисульфит натрия.

• Долить холодной воды до 1000 мл, надежно закупорить. Написать этикетку с названием раствора и указанием даты его приготовления. Закрепитель готов к применению.

• Проверить pH раствора с помощью индикаторной бумаги.

СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

Отчет должен содержать название, цель работы, состав и назначение проявителя и закрепителя. В рецепте проявителя и закрепителя следует написать назначение каждого вещества, входящего в раствор.

Техника безопасности при работе с химическими реактивами

- 1 Все работы с химическими веществами и растворами следует проводить в вытяжном шкафу или в хорошо проветриваемом помещении.
- 2 При взвешивании и пересыпании реактивов не допускается резкое встряхивание, что может вызвать их попадание на слизистые поверхности и кожу.
- 3 Бумаги после удаления навесок реактивов следует, не комкая, выбросить в мусорное ведро.
- 4 В случае попадания химических веществ на одежду, ее необходимо немедленно очистить. При попадании щелочных растворов на кожу немедленно промыть ее слабым (1 %) раствором уксусной кислоты. В случае загрязнения кислыми растворами ополоснуть кожу 0,5 % раствором соды. Затем следует смыть загрязнения струей воды.
- 5 Пользоваться реактивами без этикеток или с сомнительными надписями категорически запрещается!

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

- 1 Состав проявителей для обработки фотопленок и фотобумаг. Назначение входящих в них компонентов.
- 2 Состав фиксирующих растворов. Назначение компонентов.
- 3 Порядок приготовления фоторастворов.

Литература: [3, с. 13 – 32; 132, с. 168; 4, с. 65 – 72, с. 72 – 77].

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 3

МАКРОФОТОСЪЕМКА

Цель работы: изучить технику, условия съемки и освещения объектов при макрофотосъемке; получить качественный снимок предложенного объекта.

Приборы и принадлежности: устройство для макрофотосъемки типа «УЛАРУС», фотокамера, набор удлинительных колец, фотопленка, образцы для фотографирования.

Методические указания

Макрофотосъемка представляет собой совокупность способов фотографирования мелких и средних по размерам объектов с небольшим (не более, чем в 5 раз) уменьшением, в натуральную величину или с увеличением не более, чем в 20 раз. Макросъемка дает возможность показывать на снимке не только видимые, но и неразличимые невооруженным глазом детали и структуру объектов. Применяется для получения различного рода репродукционных материалов, при решении разнообразных задач в таких областях науки и технологии, как материаловедение, фотолитография, биология, криминалистика, археология и многих других.

Способы макросъемки необходимы в тех случаях, когда обычная съемка оказывается непригодной из-за слишком мелкого масштаба получаемых изображений (обычно не более 1 : 10), а съемка с использованием микроскопа (микросъемка) – из-за слишком крупных относительных размеров снимаемых объектов.

Для макросъемки используют фотоаппараты, позволяющие выдвигать объективы на двойное фокусное расстояние и более. Необходимый масштаб съемки обеспечивают удлинительные кольца, раздвижные приставки, насадочные линзы, оборачивающие кольца и другие устройства. Используются также специальные съемочные объективы. Макросъемку проводят с небольшого расстояния, что требует дополнительного удлинения камеры съемочного аппарата, равного f / m , где f – фокусное расстояние объектива, $1 / m$ – масштаб съемки. Укрупнение масштаба при макросъемке сильно снижает освещен-

ность изображения на фотоматериале, что требует увеличения экспозиции в $(1 + 1 / m)^2$ раз по сравнению с обычной съемкой.

Для макросъемки применяют специальные марки материалов, обеспечивающие необходимую светочувствительность, разрешающую способность и другие свойства (прил. 1, табл. П1.1).

Промышленность выпускает несколько видов комбайнов для макросъемки, одной из которых является установка «УЛАРУС» (рис. 3.1). Конструкция комбайна обычно включает в себя жестко закрепленную

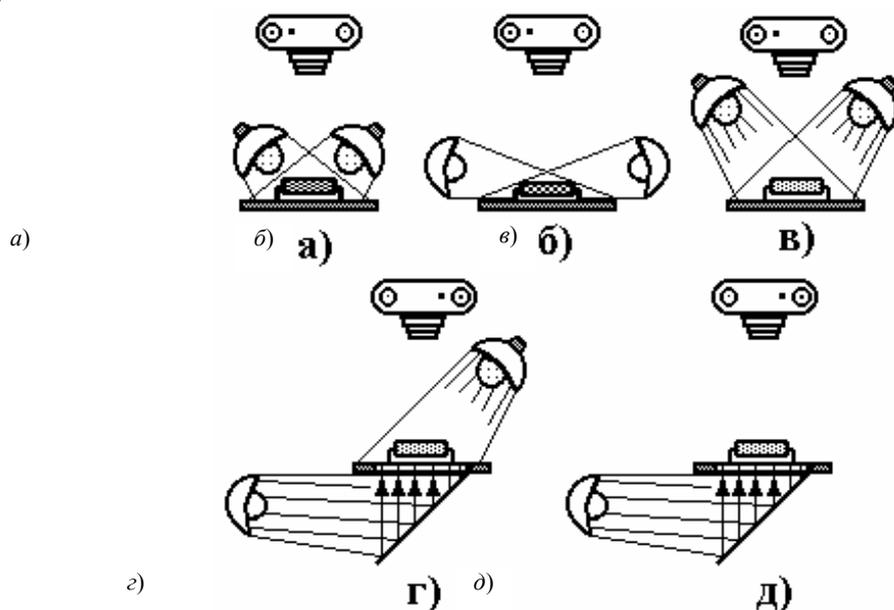


Рис. 3.1 Схемы освещения при макросъемке:

а – в – отраженным светом; *г* – комбинированным светом; *д* – проходящим светом

штангу, несущую любой тип фотокамеры. Там же размещается предметный стол, на котором и располагается фотографируемый объект. Тип освещения при макросъемке может варьироваться в самых широких пределах – от ультрафиолетового, «видимого» и до инфракрасного излучения.

Существующие конструкции объективов к зеркальным аппаратам типа «Зенит» позволяют производить съемку с ограниченных конечных расстояний, указанных на шкале дистанций каждого объектива. Для съемки с более близких расстояний используются удлинительные кольца, которые представляют собой фланцы различной длины, имеющие фоторезьбу. Они устанавливаются между фотоаппаратом и объективом.

Подбором того или иного кольца или их сочетаний получают возможность фокусировать объектив для съемки с близких расстояний. При необходимости используется второй комплект удлинительных колец или раздвижной фокусирующий мех. Наведение на резкость обычное. Из-за большого времени экспозиции рекомендуется пользоваться специальным фототросиком для спуска затвора камеры, если она не снабжена специальным автоматическим устройством.

В зависимости от задач макросъемки и характера объекта используют различные схемы его освещения (рис. 3.1). Так, если он плоский (чертеж, штриховой или тональный рисунок), важно обеспечить равномерное освещение. При этом необходимо, чтобы большинство отраженных лучей падало в объектив фотоустановки (рис. 3.1, *а, в*). Чтобы лист объекта съемки не коробился и не давал бликов, обычно его прижимают подпружиненным стеклом. В случае если производится пересъемка прозрачного объекта, используют схему «на просвет» (рис. 3.1, *д*).

Если производится макросъемка объемного объекта, то для получения равномерного освещения часто применяют не два, а много источников, расположенных по кругу – кольцевая подсветка по схеме рис. 3.1, *а, в* или световая шахта (рис. 3.1, *б*). Для выявления отдельных фрагментов поверхности образца применяют дополнительные – «рисующие» микроосветители или комбинированную схему (рис. 3.1, *г*).

Порядок выполнения работы

I Ознакомьтесь с устройством установки «УЛАРУС» (рис. 3.2).

Она предназначена для макрофото съемки и фоторепродуцирования и широко применяется как для фотолитографии в технологии печатных плат и полупроводниковых приборов РЭС, так и в криминалистике.

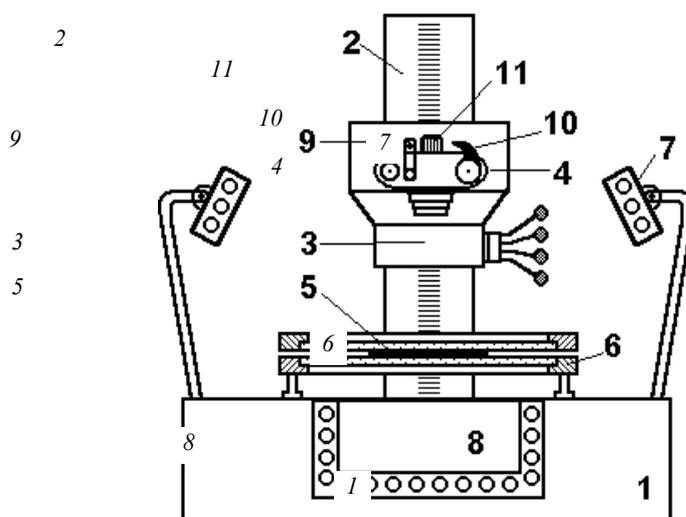


Рис. 3.2 Схема макросъемки плоского объекта на установке «УЛАРУС»:

1 – фотостол; 2 – штанга; 3 – кронштейн; 4 – фотоаппарат; 5 – объект;
6 – контактные рамки; 7 – софиты; 8 – световая шахта; 9 – рычаг автоспуска;
10 – рычаг взведения затвора; 11 – видоискатель

На фотостоле 1 установлена штанга оптической скамьи, по которой могут перемещаться монтажные кронштейны с различными фотокамерами и системами подсветки. На кронштейне 3 смонтирован зеркальный фотоаппарат 4 типа «Зенит». Плоский объект 5 зажат между стеклами контактных рамок 6. Освещение производят софитами 7 или донным осветителем световой шахты 8.

В случае с трехмерным объектом стол с контактными рамками убирается и подсветка производится в световой шахте.

На панели управления «УЛАРУСА» расположены тумблеры электропитания различных осветителей и автоматическое реле времени «Изохрон-3», управляющее автоспуском затвора фотоаппарата 9.

II 1) Зарядить фотокамеру «УЛАРУС'а» заранее подготовленной кассетой с пленкой. Получить у преподавателя объект и задание для макрофото съемки.

2) Учитывая полученное задание, подобрать комбинацию оптики, и положение фотокамеры (рукоятка кронштейна 3) с таким расчетом, чтобы резкое изображение объекта по возможности полностью заполняло окно видоискателя фотокамеры 11.

3) Выбрать вид освещения и включить осветители (7, 8) так, чтобы была наиболее ярко освещена интересующая часть объекта.

4) Прозэкспонировать 3 – 4 кадра с различным временем экспозиции (время выдержки записать). Пользуясь заранее подготовленными реактивами обработать фотопленку и оценить качество негатива и оптимальную экспозицию. Если получено нерезкое или некачественное изображение, работу повторить, исправив недостатки с учетом рекомендаций преподавателя.

СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

- 1 Описание схем освещения при макросъемке.
- 2 Качественный (резкий, нормально экспонированный и нормально обработанный) негатив.
- 3 Анализ ошибок на полученном негативе, если таковые имеются (прил. 2).

Контрольные вопросы

- 1 Схемы и приемы макрофотосъемки.
- 2 Обоснование выбора участка и масштаба для фотографирования макроскопического объекта.
- 3 Правила работы на установке «УЛАРУС».

Литература: [1, 6].

Лабораторная работа 4

ИЗУЧЕНИЕ ПРИЕМОВ МИКРОФОТОСЪЕМКИ

Цель работы: отработать технику микрофотосъемки и получить качественное негативное изображение предложенных объектов.

Приборы и принадлежности: микроскопы, фотонасадки, переходные кольца, кассеты с фотопленкой, реактивы.

Методические указания

Микрофотография – это совокупность способов фотографирования объектов, их частей и деталей с увеличением более чем в 20 раз. Микросъемка осуществляется при помощи оптических микроскопов, дающих увеличение до 3500 крат, или электронных микроскопов, позволяющих получать фотоизображения микрообъектов с увеличением в миллионы раз.

Обычно конструкцию микроскопов (рис. 4.1) можно свести к нескольким элементам: источник света, объектив и окуляр (проекционная линза). Все многообразие микроскопов в зависимости от конструктивного взаимного расположения осветителя и объектива по отношению к объекту, делятся на два типа:

- а) просвечивающие микроскопы – объект прозрачный, осветитель и объектив по разные стороны от объекта;
- б) микроскопы отражающего типа – объект непрозрачный, источник света и объектив с одной стороны от объекта.

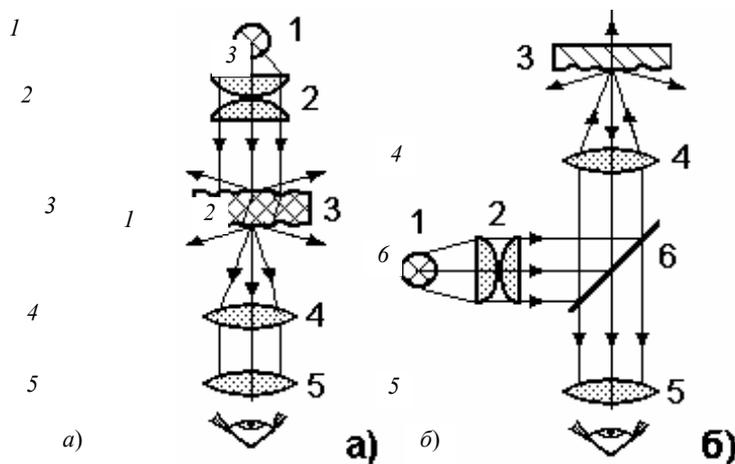


Рис. 4.1 Схема микроскопов на просвет (а) и на отражение (б):

1 – источник света; 2 – конденсор; 3 – объект; 4 – объектив;
5 – окуляр; 6 – полупрозрачное зеркало

Увеличение микроскопа $M_{\text{микр}}$ определяется как произведение увеличений всех элементов M_n , входящих в оптическую (электронно-оптическую) систему

$$M_{\text{микр}} = M_1 M_2 \dots M_n.$$

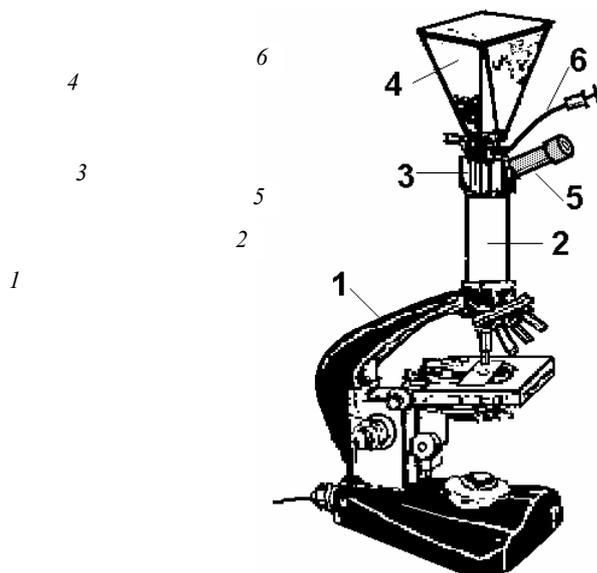


Рис. 4.3 Микроскоп МВ-30 с микрофотонасадкой МФН-8:

1 – микроскоп; 2 – соединительный тубус; 3 – фотонасадка;
4 – камера для фотопластинок; 5 – видоискатель насадки; 6 – фототросик

Порядок выполнения работы

Пользуясь инструкцией и указаниями преподавателя зарядить фотокамеру приготовленной кассетой с пленкой. Соединить фотокамеру с фотонасадкой и микроскопом, получить резкое изображение выбранного участка объекта и экспонировать 3 – 4 кадра с различными временами экспозиции (10, 20, 30 с).

Следует иметь в виду, что время экспозиции определяется многими факторами: условия освещения, характер объекта, тип оптики используемого микроскопа, свойства СЧС фотопленки или фотопластинки. Все эти условия съемки следует записать в рабочую тетрадь для определения оптимального времени экспонирования.

Обычно при пробном экспонировании используется лишь часть фотопленки в кассете. Поэтому не следует производить обратную перемотку фотоаппарата. Удобнее в темной фотокомнате открыть его крышку и оборвать пленку вблизи фотокассеты (при этом следует вытянуть ее из кассеты на 2...3 см). Затем нажать на спусковую кнопку фотоаппарата и вытянуть экспонированную пленку с приемного барабана аппарата.

Не включая света, зарядить полученный кусок в фотобачок и убедиться в его герметичности (крышка должна без перекоса войти в пазы корпуса бачка).

Дальнейшие операции можно проводить под рассеянным светом в соответствии с правилами, описанными в лабораторной работе 1 (п. III).

После обработки негативы тщательно, в течение 10 мин следует промыть под слабой струей воды и высушить, соблюдая предосторожности, описанные в работе 1. Если получено нерезкое или некачественное изображение, работу повторить, исправив недостатки.

Содержание отчета

- 1 Описание устройства микрофотонасадки.
- 2 Режимы проведенной съемки.
- 3 Качественный (резкий, нормально экспонированный и нормально обработанный) негатив.
- 4 Анализ дефектов на полученном негативе, если таковые имеются (при этом пользоваться прил. 1).

Контрольные вопросы

- 1 Структура и свойства негативных фотоматериалов.

- 2 Устройство микрофотонасадки.
- 3 Способ регулирования и определения увеличения при съемке.

Литература: [5, 8, с. 287 – 292].

Лабораторная работа 5

ПОЛУЧЕНИЕ ИЗОБРАЖЕНИЯ В ПОЗИТИВНОМ ПРОЦЕССЕ

Цель работы: 1) изучить приемы получения позитивных изображений методом проекционной фотопечати;

2) получить качественный отпечаток с полученного ранее негатива.

Приборы и принадлежности: фотоувеличитель, растворы реактивов для печати, качественный негатив.

Методические указания

В результате фотосъемки получается негатив – изображение предмета съемки, в котором фотографические почернения обратны распределению яркостей деталей объекта.

При направлении света через негатив на фотобумагу через его более светлые (прозрачные) участки пройдет больше света – это приведет к большей засветке ее светочувствительного слоя. Темные участки негатива не пропустят свет к фотобумаге. Последующая химико-фотографическая обработка дает на фотобумаге распределение почернений, обратное негативу, но точно повторяющее объект съемки.

Существуют два основных способа печати негативов на позитивном светочувствительном фотоматериале: контактный и проекционный. Изображение, полученное с помощью контактной печати (засветка фотоматериала через прижатый к нему эмульсией негатив), отличается высокой пластичностью и гармоничным соотношением светов и теней.

Проекционная печать с помощью увеличителей позволяет получить позитив необходимого масштаба с корректировкой многих дефектов негативного изображения.

Принцип действия фотоувеличителей заключается в том, что изображение с прозрачного негатива с помощью объектива проецируется на светочувствительный слой фотобумаги с необходимым увеличением (рис. 5.1).

Увеличитель устанавливается на массивном деревянном или пластмассовом основании, на котором помещается планшет для фотобумаги с кадрирующей рамкой.

Негативная рамка (негативодержатель) обеспечивает удобную и надежную установку негатива и выравнивание его в плоскости кадрового окна. Зажим негатива в рамке производится прижимными стеклами или двумя металлическими пластинами, расположенными по краю кадрового окна. В ее нижней части располагается устройство для кашетирования (ограничение размеров негатива в кадровом окне) и ограничители для установки негатива в поперечном направлении. Верхняя часть рамки может приподниматься над нижней с помощью рукоятки и фиксироваться в этом положении, позволяя перемещать негатив без повреждения его поверхностей.

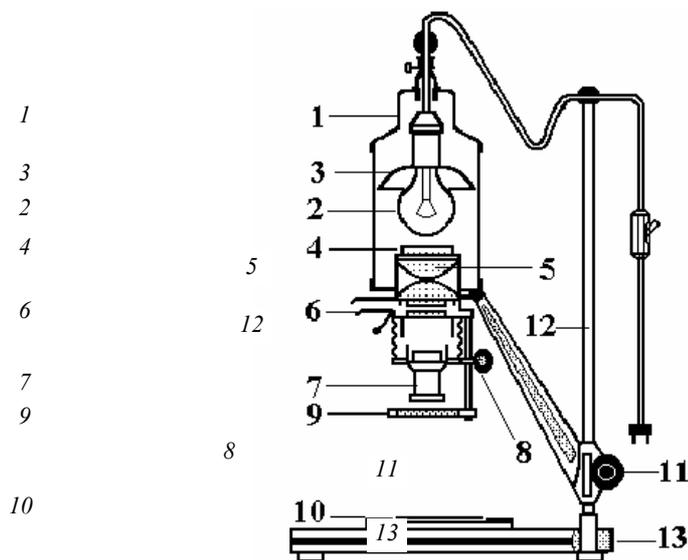


Рис. 5.1 Схема фотоувеличителя:

1 – корпус; 2 – фотолампа; 3 – рефлектор; 4 – матовое стекло; 5 – конденсор; 6 – негативодержатель; 7 – проекционный объектив; 8 – рукоятка настройки резкости; 9 – неактиничный светофильтр; 10 – планшет с фотобумагой; 11 – рукоятка перемещения проекционной головки; 12 – штанга; 13 – основание

Для установки необходимого увеличения (формата фотоотпечатка) вся проекционная головка с помощью рукоятки перемещается вдоль штанги, на которой нанесена фрикционная полоса.

Наводка на резкость осуществляется с помощью рукоятки раздвижного меха, соединяющего держатель объектива с негативодержателем. Диафрагма объектива позволяет регулировать освещенность и контраст изображения.

Для удобства оператора между объективом и фотобумагой расположен убирающийся неактиничный светофильтр, позволяющий установку кадра и укладку фотобумаги без выключения света.

Удаление негативодержателя из фотоувеличителя проводить только при опущенной верхней рамке !

Для установки и соблюдения строго постоянного времени экспонирования (включение и выключение осветителя) обычно используют автоматические реле времени.

В стационарных фотоувеличителях (типа «Беларусь») в основании обычно имеются два ящика: верхний – для хранения фотоматериалов и нижний – для запасных конденсоров, объективов и другой оснастки.

ВНИМАНИЕ ! Верхний ящик фотоувеличителя можно открывать только в полной темноте или при неактиничном освещении для хранящихся в нем фотоматериалов.

Порядок выполнения работы

1 Получить у преподавателя негатив, и в соответствии с его качеством обосновать выбор типа фотобумаги. При этом следует учитывать нижеприведенные рекомендации.

Черно-белая фотобумага общего назначения предназначена для фотоотпечатков с негативов в художественной, технической и документальной фотографии контактным или проекционным методом печати. Основные характеристики видов черно-белой фотобумаги общего назначения приведены в табл. П1.2 (прил. 1).

Качественный негатив при печати на бумаге нормальной контрастности и при стандартной обработке должен обеспечивать приемлемое качество позитива (изображение насыщенного тона, без «забитых» теней и совершенно белых, без деталей светов). В связи с непостоянством свойств фотобумаги во времени, возможных отклонений от режима, из-за особенностей негатива эта задача может выполняться лишь приблизительно. Поэтому правильную экспозицию обычно выбирают с помощью пробного отпечатка.

Черно-белую фотобумагу проявляют с визуальным (в оранжево-красном цвете) контролем до получения максимально черного тона в сильно экспонированном участке изображения. Некоторая коррекция контраста изображения возможна при изменении режима проявления, более радикальная – при переходе на бумагу другой контрастности.

Негативы со значительным контрастом могут потребовать перехода на мягкую, с малым – на контрастную или особо контрастную. Излишне плотные по степени почернения негативы с практически неразрешимыми полутонами также требуют печати на мягких бумагах.

2 В чистые фотованночки разлить фоторастворы (проявитель для фотобумаги – стопванна- фиксаж), которые были приготовлены ранее (лабораторная работа 2).

Для остановки проявления можно использовать промывку фотобумаги в умягченной или дистиллированной водопроводной воде или стоп-растворе следующего состава.

ОСТАНАВЛИВАЮЩИЙ РАСТВОР

Кислота уксусная (28%-й водный раствор), мл	50
Вода, мл	до 1000

3 Включить осветитель фотоувеличителя и проверить однородность освещенности фотопланшета.

Поместить фотонегатив в негативодержатель. Рукояткой перемещения проекционной головки установить требуемый формат (увеличение) изображения. Растягивая или сокращая мех объективодержателя, получить резкое изображение негатива на листе белой бумаги (такой же толщины, как используемая фотобумага), уложенном на планшете. Поворотом корпуса объектива закрыть его диафрагму примерно на одну треть. Это позволяет увеличить резкость изображения.

4 Приготовить три небольших (4 × 4 см) кусочка фотобумаги и сделать на них пробные отпечатки фрагмента изображения с разными экспозициями (для установления приблизительной экспозиции проконсультироваться у руководителя занятий).

5 Проявить, отфиксировать и промыть пробные отпечатки.

Внимание! Часто встречающаяся ошибка – стремление уменьшить влияние передержки за счет уменьшения времени проявления. Нормально экспонированный отпечаток при проявлении до трех минут не должен далее темнеть в проявителе.

При дневном освещении оценить и скорректировать время экспонирования и получить качественный отпечаток негатива заданного формата (6 × 9 см).

Если на негативе наблюдается неравномерность освещения, можно устранить этот дефект, прикрыв светлый участок спроецированного изображения, и увеличить время экспонирования темного участка. Для этого расположить руку на половине высоты между объективом и планшетом с фотобумагой и покачивать ее, чтобы не было рекой границы между участками с разной экспозицией печати.

Содержание отчета

- 1 Описание устройства фотоувеличителя.
- 2 Химический состав использованных фотореактивов.
- 3 Качественный (резкий, нормально экспонированный и нормально обработанный) фотоотпечаток. Анализ его дефектов, если таковые имеются (прил. 2).

Контрольные вопросы

- 1 Устройство фотоувеличителя.
- 2 Закономерности позитивного фотопроцесса.
- 3 Приемы получения резкого изображения негатива с помощью фотоувеличителя.
- 4 Характеристики фотоматериалов и основные типы фотобумаг общего назначения.

Литература: [1, 3, с. 55 – 64].

МЕТОДЫ ПОЛУЧЕНИЯ И ИЗМЕРЕНИЯ ВАКУУМА

Цель работы: изучить методы получения и измерения низкого и высокого вакуума; освоить приемы работы с вакуумной установкой.

Приборы и принадлежности: вакуумная установка УВР-3М, вакуумметр ВИТ-3, манометрические лампы ПМТ-4 и ПМИ-2.

Методические указания

Вакуумная техника широко применяется в радиопромышленности для напыления тонких пленок в микроэлектронике, получения высокочистых материалов, безокислительной термообработки металлов и сплавов, электронной микроскопии и т.д.

Вакуум в технике – это состояние газа, находящегося в ограниченном объеме при давлении, значительно меньшем атмосферного. В зависимости от соотношения между размером D этого объема и длиной свободного пробега атомов или молекул газа λ различают низкий ($\lambda \ll D$), средний ($\lambda \sim D$) и высокий ($\lambda \gg D$) вакуум.

Так как вакуум – это разрежение газа, то измеряют его в единицах давления – Па = 1 Н/м² или миллиметрах ртутного столба (1 мм рт. ст. = 133,322 Па).

Для установок с размером $D \approx 0,1$ м различают вакуум:

- низкий – давление >100 Па (>1 торр);
- средний – давление $0,1 \dots 100$ Па ($10^{-3} - 1$ торр);
- высокий – давление $<0,1$ Па ($<10^{-3}$ торр);
- сверхвысокий – давление $<10^{-6}$ Па ($<10^{-8}$ торр).

Вакуум в замкнутом объеме прибора – это не статическое, а динамическое состояние, являющееся результатом одновременно идущих противоположных процессов откачки и натекания атмосферы через

микроскопические поры и щели в материале корпуса и вакуумных уплотнениях.

В технологии микросхем обычно применяют вакуум не хуже $1 \cdot 10^{-4}$ торр. Поэтому различают низкий вакуум ($10^{-2} \dots 10^{-3}$ торр), который получают с помощью механических насосов и высокий – с помощью диффузионных паромасляных.

Механический форвакуумный насос (рис. 6.1) состоит из цилиндрической камеры с клапанами, в которой с эксцентриситетом установлен ротор. В сквозную щель ротора по всей длине камеры вставлены две пластины, которые с помощью пружин прижимаются полированным торцом к ее поверхности. Таким образом, рабочая камера форнасоса разбивается на три объема. Герметичность контактов обеспечивается с помощью вакуумного масла (ВМ-4 или ВМ-6).

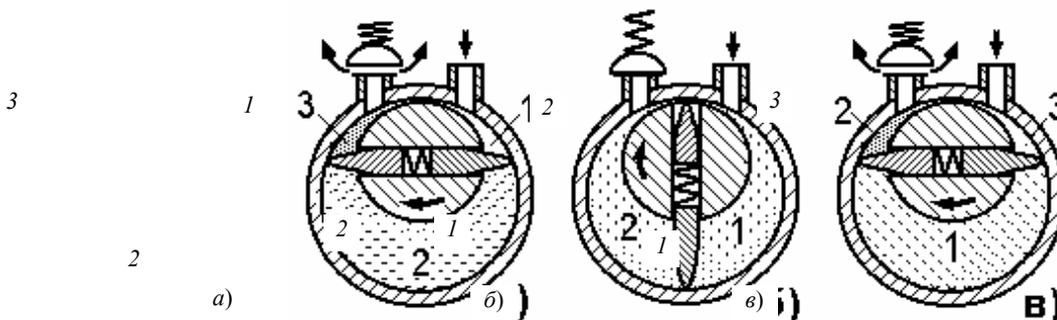


Рис. 6.1 Схема работы форвакуумного насоса:

1, 2, 3 – рабочие полости

Работа форнасоса основана на том, что при увеличении объема замкнутой полости давление в ней падает до уровня, меньшего, чем в откачиваемой системе, и воздух из нее подсасывается в область разрежения.

При вращении ротора полость 1, находящаяся у входного клапана, увеличивается в объеме – всасывание воздуха из вакуумной системы (рис. 6.1, а, б). Затем вторая пластина отсекает полость 1 от впускного клапана (рис. 6.1, в). При дальнейшем движении ротора полость 1 уменьшается в объеме (сжатие порции газа) и соединяется с выхлопным клапаном. При определенном давлении подпружиненный клапан открывается и происходит выхлоп порции воздуха через слой вакуумного масла (на рис. 6.1, а это видно для объема 3). Процесс последовательно повторяется во всех объемах форнасоса.

В начале (при работе на атмосферу) производительность форнасоса большая ($10 \dots 15 \text{ см}^3/\text{с}$), интенсивный выхлоп – насос «хлюпает», шумит. Затем объем выбрасываемого воздуха неуклонно падает и при достижении вакуума $10^{-2} \dots 10^{-3}$ торр скорость откачки и натекания выравнивается – достигается предельный для него вакуум.

Для получения высокого вакуума широко применяют диффузионный насос (рис. 6.2). Он состоит из стального вертикального стакана 1, который открытым верхним фланцем присоединяется к откачиваемой системе.

В нижней его части установлен нагреватель 3, а в верхней – охлаждающая водяная «рубашка» 4. Внутри устанавливается насадка 6 из труб зонтичного типа и на дно заливается $100 \dots 500 \text{ см}^3$ высоковакуумного масла 2

(ВМ-1, ВМ-2 или ВМ-5).

Предварительно в дифнасосе создается низкий вакуум через нижний патрубок 5. При включенном нагревателе масло испаряется. Его пары поднимаются по трубе насадки и с силой вырываются через множество сопел зонтика. Высокоскоростная струя паров создает область разрежения

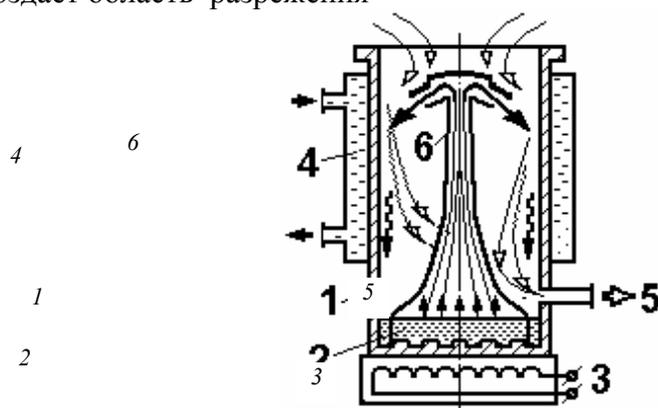


Рис. 6.2 Схема паромасляного насоса:

1 – корпус; 2 – масло; 3 – нагреватель; 4 – водяная «рубашка»;

5 – откачка форвакуума; 6 – насадка

(эжекторный эффект), в которую диффундируют молекулы газов из откачиваемого объема. Струя увлекает их за собой в нижнюю часть дифнасоса (при этом парциальное давление газов растет), где они откачиваются через патрубок 5 форвакуумным насосом.

Пары масла конденсируются на охлаждаемых стенках, и оно стекает на дно – к нагревателю. Для получения сверхвысокого вакуума используют ртуть вместо масла или применяют ионные и сорбционные насосы.

Измерение вакуума

Для контроля вакуума широко применяют ионизационно-термопарный прибор ВИТ-3 в комплекте с манометрическими датчиками.

Контроль предварительного разрежения ведут с помощью термопарного манометрического преобразователя (рис. 6.3, а). Это стеклянный (ПМТ-2) или стальной (ПМТ-4) корпус, соединенный с вакуумной системой. Внутри него помещен тонкий проволочный резистор 1, нагреваемый постоянным током накала, и прецизионная термопара 2, контролирующая температуру этого сопротивления.

Термо-эдс, измеряемая милливольтметром термопарной части прибора ВИТ-3, зависит от давления остаточных газов в вакуумной системе. Чем выше вакуум, тем меньше молекулы газов охлаждают резистор, тем ближе термопара к номинальной температуре (100 делений шкалы равны 10 мВ ТЭДС термопары). Рабочий диапазон такого датчика $10^{-1} \dots 10^{-3}$ торр. В состоянии поставки лампа ПМТ-2 запаяна (вакуум $1 \cdot 10^{-5}$ торр). После подсоединения лампы к разъему включают ВИТ-3 (тумблер «род работы» в положение «вкл») и левым тумблером на термопарной панели прибора

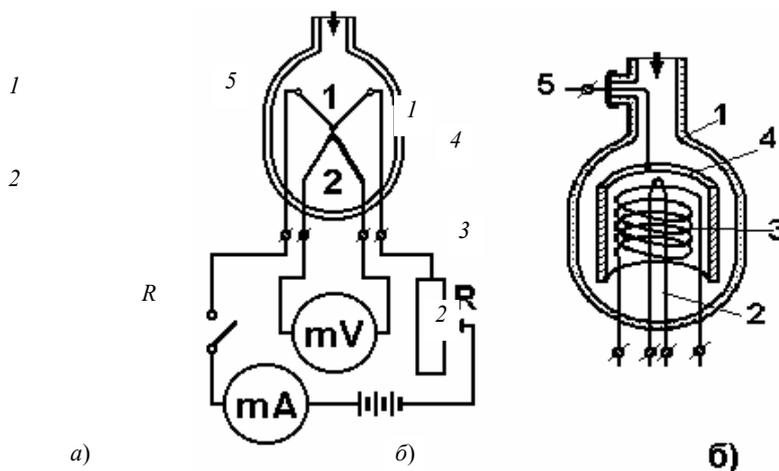


Рис. 6.3 Датчики для измерения вакуума:

а – низкого: 1 – нить накала; 2 – термопара;

б – высокого: 1 – корпус; 2 – катод; 3 – анод; 4 – коллектор;

5 – высоковольтный контакт

устанавливают режим работы «Измерения». Рукояткой «Ток нагревателя» (резистор R на рис. 6.3, а) устанавливают стрелку прибора на конец верхней шкалы «10». Переключают тумблер в режим работы «Ток нагревателя» и по нижней шкале определяют и записывают рабочий ток накала.

Затем запаянный конец лампы ПМТ-2 отрезают и с помощью резинового уплотнения присоединяют ее к откачиваемому объему (лампа ПМТ-4 – открытая, ее ток накала указан маркировкой на металлическом корпусе).

Для контроля высокого вакуума применяют ионизационный преобразователь ПМИ-2 (рис. 6.3, б), в стеклянном корпусе 1 которого коаксиально расположен цилиндрический коллектор ионов 4, анод в виде спирали 3 и V-образный катод 2. Ее запаянный конец отрезают и монтируют в вакуумную установку.

Измерение вакуума основано на ионизации молекул газа в промежутке катод-анод электронами, эмитированными нагретым катодом. Положительные ионы движутся к коллектору 4, который находится под отрицательным потенциалом 250 вольт (контакт 5). Их концентрация пропорциональна количеству молекул остаточной атмосферы. Поэтому величина ионного тока пропорциональна давлению газа в системе при условии, что оно не выше 10^{-3} торр, а эмиссионный ток поддерживается постоянным.

Перед включением ионизационной части ВИТ-3 сначала надо убедиться, что в вакуумном объеме давление не выше 10^{-3} торр (в противном случае катод сгорит), ВИТ-3 прогреет 2...3 мин, переключатель «Шкала прибора» стоит в положении 10^{-5} , а резисторы «Установка нуля» и «Установка тока эмиссии» в крайне левом положении. Затем следует повернуть переключатель «Род работы» в положение «Ток эмиссии». При этом загорается сигнальная лампа «ПМИ-2» и лампа «Защита – перегрузка». Для снятия пусковой перегрузки следует кратковременно нажать вниз одноименный тумблер.

После этого резистором «Установка тока эмиссии» стрелка микроамперметра выводится на деление «5» (500 мка). Затем переключатель «Род работы» устанавливают в положение «Измерение» и прогревают прибор ВИТ-3 в течение 30 мин до готовности.

Перед началом измерений кнопкой «Проверка нуля» и резистором «Установка нуля» настраивают усилитель постоянного тока ионизационной схемы.

Затем переключателем «Шкала прибора» устанавливают сначала обзорную шкалу (нижняя на микроамперметре), а затем подходящий множитель (10^{-5} , 10^{-6} , ..., 10^{-9}) для определения величины ионного тока по верхней шкале прибора.

Величина давления рассчитывается по формуле

$$P = C I,$$

где P – давление, торр; I – ионный ток, А; $C = 100$ торр/А – постоянная ПМИ-2.

При длительной работе периодически производят обезгаживание лампы ПМИ-2, для чего поворачивают переключатель «Род работы» в положение «Прогрев». При этом спираль анода нагревается до высокой температуры в течение 3...5 мин. Контроль осуществляется по шкале с множителями не ниже 10^{-7} .

Примечание: При зашкаливании микроамперметра и загорании индикатора «Перегрузка» следует перейти к более грубой шкале (10^{-5} , 10^{-6}). Если при этом ошибка не устраняется, следует выключить прибор.

Порядок работы

I ИЗУЧЕНИЕ ВАКУУМНОЙ СИСТЕМЫ УСТАНОВКИ УВР-3М

Она состоит (рис. 6.4) из рабочего объема (колпака) 1, диффузионного 2 и механического 5 насосов, форбаллона 3 и распределительной коробки 4. Вакуумная коробка состоит из трех подпружиненных клапанов со сферическими головками, упирающимися в рабочий вал. При его повороте одна из них попадает в углубление на поверхности вала и соответствующий ей клапан открывается. Коробка постоянно соединена с механическим насосом и через клапаны – с атмосферой (А); с форбаллоном (В) или с рабочим объемом (Н).

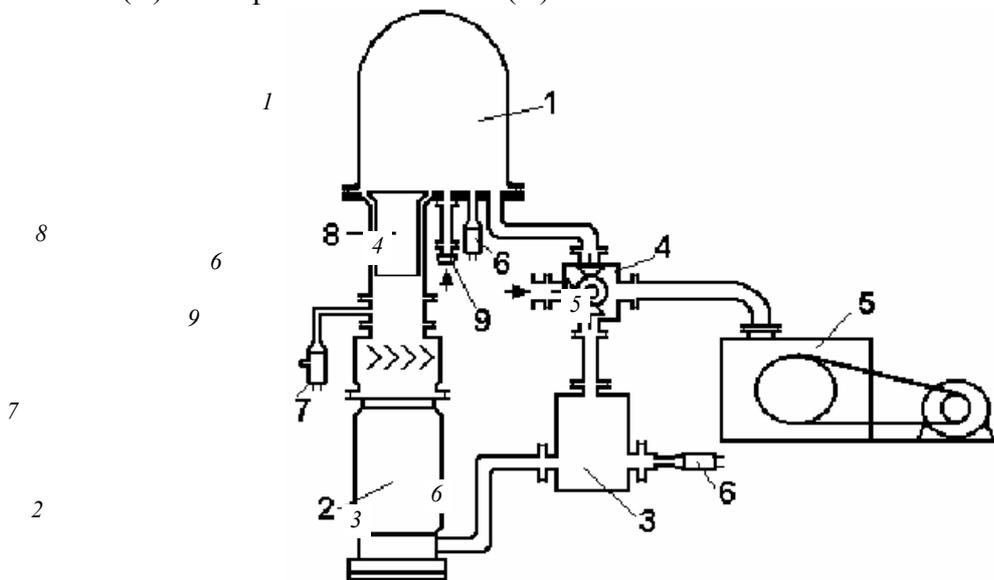


Рис. 6.4 Схема вакуумной системы УВР-3М:

- 1 – рабочий объем; 2 – диффузионный насос; 3 – форвакуумный баллон;
- 4 – клапанная коробка; 5 – форвакуумный насос; 6 – датчики низкого вакуума;
- 7 – датчик высокого вакуума; 8 – клапан – отсекающий;
- 9 – клапан напуска воздуха в рабочий объем

Свечение одной из букв («А», «З», «В», «Н») дисплея на панели «УПРАВЛЕНИЕ МЕХАНИЗМАМИ ПОСТА» УВР-3М показывает положение клапанной коробки (рис. 6.5, светящаяся буква – на черном фоне). Направление вращения вала (а значит и порядок открытия клапанов) задается реверс – тумблером **ВНАЗ**, а его включение осуществляется кратковременным нажатием вниз тумблера «Пуск». Форвакуумный баллон обеспечивает устойчивость работы диффузионного насоса, обеспечивая необходимый уровень низкого вакуума на его выходе, даже при отключении механического насоса.

Высоковакуумный насос установлен в комплекте с масляной ловушкой на опорной плите рабочего объема и отделен от него клапаном – отсекателем 8. При включении электрического питания установки соленоид втягивает в себя стальной стакан отсекателя, верхняя часть которого (кольцевой нож) упирается во фторопластовое вакуумное уплотнение, надежно изолируя объем дифнасоса. Если затем в колпак будет напущен воздух, то даже при выключенном соленоиде клапан – отсекатель будет закрыт противодавлением.

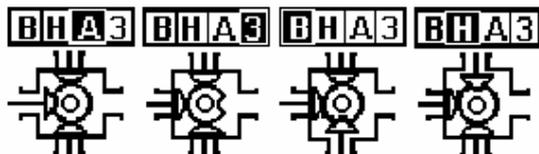


Рис. 6.5 Положение клапанов вакуумной коробки

Электрическая блокировка не позволяет случайно напустить воздух в колпак (электромагнитный клапан 9) при открытом клапане – отсекателе.

Низкий вакуум контролируется лампами ПМТ, установленными на форбаллоне и рабочем объеме 6. Ионизационная лампа ПМИ-2 устанавливается в верхней части дифнасоса 7.

II Изучить порядок включения УВР-3М.

1 Включить питание УВР-3М тумблером «Сеть» и проверить его исправность (загораются цифры «1», «2», «3», обозначающие три фазы силовой цепи).

В исходном состоянии в колпаке и дифнасосе – остаточный вакуум, в форнасос и коробку напущен воздух (на дисплее горит «А»).

Проверить положение управляющих переключателей:

- тумблеры «Клапан – отсекатель» в положении «Закрыто»,
- тумблеры «Воздух под колпак», «Вакуум низкий» и «Высокий» находятся в нижнем положении, что соответствует – «выключено».

2 Повернуть переключатель «ВНАЗ» в правое положение и, нажав «Пуск» вниз, перевести клапанную коробку в положение «3» (все клапаны закрыты).

3 Включить форнасос тумблером «Низкий» и откачать его внутренний объем 2...3 мин.

4 При том же положении реверс – тумблера «ВНАЗ» нажатием вниз «Пуск» перевести коробку в положение «В». При этом производится откачка низкого вакуума в форбаллоне и дифнасосе до 30 – 40 делений шкалы термодарной части прибора ВИТ-3.

5 После достижения указанного предварительного вакуума включить водяное охлаждение дифнасоса: открыть магистральный вентиль; проверить сток воды в сливном шланге – струя должна быть непрерывной и сильной.

6 Тумблером «Высокий» включить нагревательный элемент дифнасоса. Время выхода на рабочий режим – 30...40 мин.

7 Не прекращая разогрев высоковакуумного насоса, откачать низкий вакуум из рабочего объема. Для этого тумблером «Пуск» открыть клапан «Н». В течение 3...5 мин дифнасос может обходиться без форнасоса – работает емкость форбаллона.

8 Вернуться в положение клапанной коробки «В». Для этого переключить реверс-тумблер «ВНАЗ» влево и нажать «Пуск».

ВНИМАНИЕ ! *Переход от позиции «Н» вправо – сразу к «А» запрещен !*

Это связано с возможностью случайного напуска атмосферы в колпак и горячий дифнасос (что недопустимо!).

9 Повторить операции 7 и 8 до достижения предварительного вакуума в колпаке (40 – 50 делений шкалы термпарной части прибора ВИТ-3) и рабочего разогрева дифнасоса.

10 Переключить распределительную коробку в положение «В». Тумблер «Клапан – отсека- тель» установить в положение «Открыто». При этом соленоид выключается, и пружина открывает клапан – отсека- тель.

В этот момент вакуум в колпаке (включена лампа ПМТ) увеличивается, а в форбаллоне – падает. Если вакуум в форбаллоне очень низкий (стрелка ВИТ-3 приближается к красному делению шкалы), следует закрыть клапан – отсека- тель и продолжить разогрев дифнасоса.

Контроль осуществляется лампой ПМТ-2 на колпаке и термпарной частью прибора ВИТ-3 до 80 – 90 делений шкалы. Затем надо включить ионизационную часть ВИТ-3 и лампу ПМИ-2. В штатном ре- жиме откачка высокого вакуума продолжается 15...20 мин до достижения в колпаке давления $1 \cdot 10^{-4} \dots 5 \cdot 10^{-4}$ мм. рт. ст.

III Изучить порядок выключения вакуумной системы.

1 Выключить ионизационную часть ВИТ-3.

2 Тумблер «Клапан – отсека- тель» поставить в положение «Закрыт».

Рабочий объем изолирован от системы откачки. Вакуум в нем начинает медленно падать за счет на- текания атмосферы через микрощели в вакуумных уплотнениях.

3 Тумблер «Высокий» поставить в положение «Выключено».

После выключения электронагревателя дифнасос охлаждается проточной водой через его «рубаш- ку» в течение 50...60 мин (до 30...40 °С). Откачка вакуума из форбаллона механическим насосом про- должается до полного остывания.

4 Закрыть магистральный водяной вентиль.

5 Переключить коробку в положение «Закрыто» (3).

6 Выключить механический насос (тумблер «Низкий» – в положение «Выключено»).

7 Переключить клапанную коробку в положение А.

При этом производится напуск атмосферы в клапанную коробку и в форнасос. В противном случае, противодействие атмосферы вызывает вытеснение вакуумного масла из насоса в трубопровод и объем клапанной коробки, что выводит их из строя.

Пр и м е ч а н и е : Напуск воздуха в рабочий объем производится тумблером «Воздух под колпак» – положение «Вкл.» при проведении монтажных работ в колпаке. При выключении установки в колпаке должно оставаться небольшое разрежение. Напуск воздуха в дифнасос и форбаллон производится толь- ко при ремонте и обслуживании установки.

Задание

- 1 Определить ток накала лампы ПМТ-2 с помощью термпарной части ВИТ-3.
- 2 Измерить натекание атмосферы в рабочий объем после получения высокого вакуума и закрывания клапана – отсека- теля с помощью термпарного манометрического преобразователя в течение 20 мин (шаг измерения – 1 мин).

Содержание отчета

- 1 Схема работы форвакуумного и паромасляного насосов.
- 2 Схема вакуумной установки.
- 3 График натекания атмосферы в рабочий объем.

Контрольные вопросы

- 1 Получение и измерение низкого вакуума.

- 2 Получение и измерение высокого вакуума.
- 3 Порядок включения и выключения вакуумной системы.
- 4 Конструкция и материалы вакуумных уплотнений.

Литература: [7, с. 22 – 30, 107 – 111; 8].

Лабораторная работа 7

ПАЙКА

Цель работы: ознакомиться с принципами и технологическими приемами пайки металлов и неметаллов мягкими припоями.

Оборудование и материалы: паяльник электрический ПЭТ-50-б с регулятором температуры РТП-2Н, пинцет, плоскогубцы, припой, флюсы паяльные, образцы, спирто-бензиновая смесь, салфетки, кисть.

Методические указания

Пайка – процесс получения соединения деталей с помощью жидкого присадочного металла (припоя).

Процесс образования паяного соединения состоит из нескольких этапов:

- прогрев материала паяемого шва до температуры, близкой к температуре плавления припоя;
- плавление припоя;
- смачивание и растекание припоя по поверхности деталей в шве;
- протекание диффузионных процессов между припоем и материалом заготовок;
- охлаждение и кристаллизация припоя.

Обычно эти стадии перекрываются и сопровождаются побочными процессами.

Припой – это металл или сплав, вводимый в зазор между соединяемыми деталями или образующийся между ними в процессе пайки.

К нему предъявляются следующие требования:

- температура плавления должна быть ниже, чем у паяемых материалов;
- расплавленный припой должен хорошо смачивать и растекаться по их поверхности;
- должен иметь механические, химические и физические свойства, удовлетворяющие условиям эксплуатации паяного соединения.

По температуре плавления припои разделяют на твердые (выше 450 °С) и мягкие – особо легкоплавкие (ниже 145 °С) и легкоплавкие (от 145° до 450 °С).

Структура паяного соединения показана на рис. 7.1 и состоит из следующих частей.

Шов – неоднородная по составу и структуре литая прослойка между соединяемыми заготовками, образующаяся в результате действия расплавленного припоя с паяемыми материалами и последующей кристаллизации расплава в зазоре.

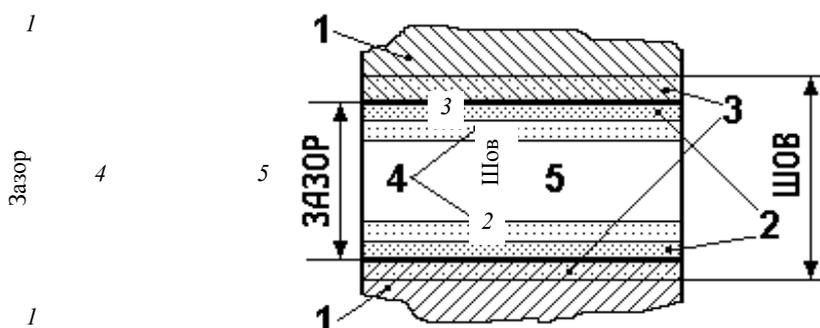


Рис. 7.1 Строение паяного соединения:

1 – заготовки; 2 – спай; 3 – диффузионная зона;
4 – прикристаллизованная зона; 5 – припой

Спай – переходный слой, образующийся при взаимодействии расплава припоя и паяемого материала.

Диффузионная зона – граничащий со спаем слой заготовки с измененным химическим составом и микроструктурой в результате взаимной диффузии компонентов припоя и паяемого материала.

Прикристаллизованная зона – граничащий со спаем слой в шве, который образуется при затвердевании расплава в результате выделения тугоплавких фаз, обогащенных компонентами материала заготовок.

В пайке обычно применяют зазоры между деталями в пределах 0,05...0,2 мм. Поэтому главным условием получения качественного паяного соединения является смачивание расплавленным припоем поверхности заготовок и его капиллярное течение в зазоре.

Растекание жидкого припоя по поверхности заготовки определяется соотношением сил поверхностного натяжения на границе газ-жидкость σ_{12} , газ – твердое тело σ_{13} и жидкий припой – твердое тело σ_{23} (рис. 7.2) и зависит от краевого угла смачивания θ или коэффициента смачиваемости

$$\cos \theta = \frac{\sigma_{13} - \sigma_{23}}{\sigma_{12}}.$$

Для улучшения смачиваемости необходимо уменьшать поверхностное натяжение на границе расплав – заготовка и расплав – газ и увеличивать на границе заготовка – газ. Это достигается тщательной механической и химической очисткой паяемых поверхностей, правильным выбором защитных атмосфер или применением паяльных флюсов.

Паяльный флюс – это активное химическое вещество, предназначенное для очистки поверхности паяемых заготовок и расплавленного припоя от окислов и улучшения его смачиваемости и растекания.

Различают флюсы для высоко- (больше 450 °С) и низкотемпературной пайки (меньше 450 °С). Для пайки мягкими припоями используют органические флюсы (на основе канифоли, гидразина, анилина, стеарина) и неорганические (смесь хлоридов аммония, цинка, меди с добавками соляной кислоты).

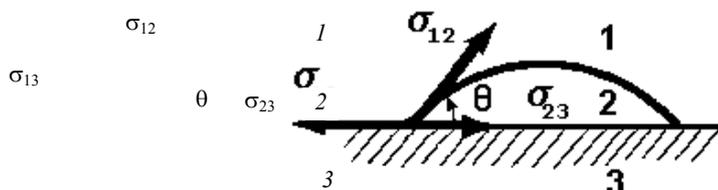


Рис. 7.2 Схема сил поверхностного натяжения капли жидкого припоя на поверхности твердого тела:

1 – газ; 2 – жидкость; 3 – твердое тело

В зависимости от полноты протекания отдельных стадий процесса пайки различают четыре вида спаев: бездиффузионный, растворно-диффузионный, контактно-реакционный и диспергированный. Это определяется технологией образования паяного соединения (режимом пайки, способом введения припоя и формирования шва).

В радиомонтажных работах чаще применяют первые два вида пайки, позволяющие получить надежное соединение деталей без заметного нарушения их структуры и свойств.

Режим пайки включает в себя температуру пайки, скорость нагрева и его характер (непрерывный или ступенчатый), время выдержки при температуре и скорость охлаждения паяемого соединения.

В табл. 7.1 приведены примеры выбора припоя, флюсов и режиме пайки для различных материалов.

7.1 Пример выбора условий и режимов пайки мягкими припоями

Материал заготовок	Состав флюса (вес %)	Состав припоя (вес %)	Температура, °С
Углеродистая сталь	1) Хлоридный (10 % ZnCl ₂ , 5 % NH ₄ Cl, вода – остальное)	1) ПОС-61 (олово – 61 %, свинец – 39 %)	185...190
	2) Флюс ЛМ-2 (32 % ортофосфорной кислоты, 6 % канифоли, спирт этиловый – остальное)	2) ПОССу 25-2 (олово 25 %, сурьма 2 %, свинец – остальное)	185...260
Медь, медные сплавы	1) Канифоль 2) ФКСП (канифоль – 30 %, спирт этиловый – 70 %)	1) ПОС-61 2) ПОС-40	185...190 200...225
Германий и кремний, покрытые никелем Тонкие пленки меди на ситалле и стекле	ФКСП	Сплав Розе (висмут – 50 %, свинец – 25 %, олово – 25 %)	100...110

Существует много типов источников тепла и способов ввода припоя при пайке. Наиболее простой способ пайки с нагревом паяльником нашел широкое применение в технике.

Обычный электрический паяльник состоит из медного заостренного наконечника, нагреваемого нихромовой спиралью и диэлектрической рукоятки. Для радиомонтажа обычно применяют паяльники с регулируемой либо строго заданной температурой наконечника. Для медных наконечников она не должна превышать 400 °С. При перегреве увеличивается окисление материала наконечника и его растворение в жидком припое.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1 Подготовка паяльника

Перед пайкой необходимо заточить рабочий конец паяльника под углом 30...40° и очистить его от следов окалины с помощью мелкой наждачной шкурки. После этого нагреть паяльник до 250...300 °С, погрузить зачищенный наконечник во флюс и затем тщательно залудить его используемым при пайке припоем.

2 Пайка углеродистых сталей внахлестку.

Задание – спаять внахлестку две стальные листовые заготовки.

- Подготовить две листовых заготовки к пайке. Для этого зачистить поверхность металла от края заготовки на длине, равной 3 – 8 толщины листа. Механическую очистку от окалины и загрязнений провести мелкой наждачной шкуркой. Обезжирить паяемые поверхности салфеткой, смоченной в спирто-бензиновой смеси.

- С помощью кисти нанести на детали слой хлоридного флюса. Разогретым паяльником, покрытым припоем ПОС-61, прогреть обе заготовки на деревянной подставке до температуры 190 ± 5 °С и облудить на ширину нахлестки. Затем наложить детали облуженными поверхностями внахлестку и зафиксировать их положение пинцетом или плоскогубцами. Пайку производят, передвигая наконечник паяльника по шву. При этом припой под действием силы тяжести и капиллярных сил втягивается в зазор между деталями и формирует шов.

- После пайки обоих швов удалить остатки флюса промывкой в воде и просушить салфеткой.
- Проверить прочность паяного соединения.

3 Пайка электрорадиоэлементов (ЭРЭ).

При радиомонтаже ЭРЭ широко применяется пайка припоем ПОС-61 с флюсом ФКСП, которая обеспечивает хорошую прочность и электропроводность соединений.

Задание – произвести монтаж пайкой радиоэлементов на печатную плату из фольгированного стеклотекстолита.

- Обезжирить паяемые детали салфеткой, смоченной в спирто-бензиновой смеси.
- С помощью кисти нанести на паяемые контактные поверхности слой флюса.
- Облудить поверхности припоем ПОС-61 с помощью паяльника.
- Вставить выводы ЭРЭ в монтажные отверстия на плате и спаять места крепления. Режим лужения и пайки: температура нагрева 250 ± 5 °С, время лужения или пайки не более 3 с. Скорость нагрева обеспечивается выбранной мощностью паяльника (50 Вт).
- Остатки флюса удалить протиркой спирто-бензиновой смесью.

4 Пайка тонких металлических пленок.

При пайке контактов к тонким металлическим пленкам длительный нагрев приводит к ее растворению в капле припоя и разрушению в месте спая. В этом случае применяют легкоплавкие припои, и время нагрева ограничивают 0,5...1 с (одним касанием паяльника).

Задание – припаять проволочные проводники к пленочным образцам.

- Получить у преподавателя стеклянные и ситалловые подложки с нанесенной пленкой меди и контактные проводники.
- Припаять медные проволочные проводники к пленочным образцам (припой – сплав Розе, флюс ФКСП) и качественно оценить механическую прочность спая.

5 Пайка металлов с неметаллами.

При пайке металлов с диэлектриками и полупроводниками сильное различие в физико-химических свойствах материалов требует специальной конструкции спая, уменьшающей термические напряжения.

Для этого применяют следующие приемы:

- а) активные припои на основе индия, смачивающие оба материала;
- б) нанесение металлических пленок (электролизом, напылением, вжиганием) на паяемую поверхность с последующей обычной пайкой металл-металл.

Задание – припаять контактные проводки из медной проволоки к оксидным терморезисторам с серебряным подслоем, нанесенным методом вжигания.

Режим пайки: температура 250 ± 5 °С. Время – 3...5 с. Припой ПОС-61. Флюс – канифоль.

Содержание отчета

Отчет должен содержать название, цель работы, порядок проведения, результаты выполненного задания, анализ причин брака при пайке.

Контрольные вопросы

- 1 Что такое пайка?
- 2 Этапы процесса образования паяного соединения.
- 3 Структура паяного соединения.

- 4 Виды спаев.
- 5 Что такое припой?
- 6 Назначение флюсов.

Литература: [9, 10, 11].

Лабораторная работа 8

МЕХАНИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА СТЕКЛА

Цель работы: ознакомление с технологическими приемами механической обработки стекла.

Материалы, оборудование, инструменты: листовое стекло толщиной 0,5...4 мм, стеклянные трубки разных диаметров, порошок окиси алюминия и карборунда, заточенные отрезки медной трубки, нихромовая проволока диаметром 0,2...0,3 мм, алмазный стеклорез, паяльник, лабораторный автотрансформатор (ЛАТР), сверлильный станок, наждачная шкурка.

Методические указания

Стекло и стеклокристаллические материалы находят широкое применение в радиопромышленности. Сложный состав, структура и технология изготовления стекла обуславливают его высокую твердость, низкую механическую прочность и теплопроводность. Поэтому его разрушение имеет хрупкий характер. Траектория трещины определяется формой и расположением нанесенных алмазным резцом микронадрезов и действующими напряжениями, которые можно ввести в материал как механическим, так и термическим способом.

Другой способ обработки стекла состоит в последовательном микро-разрушении приповерхностных слоев материала абразивными частицами инструмента.

1 Резка стекла (скрайбирование).

При резке стекла на его поверхности наносится риска (микротрещина) с помощью стеклореза – алмазного резца или твердосплавного колесика. Нагрузка, прикладываемая к инструменту, зависит от толщины листа и составляет 2...5 Н.

Хороший надрез после проведения алмазом прозрачен, почти невидим. Мутно-белый цвет риски показывает, что вместо одной микротрещины получилось множество микросколов. В этом случае необходимо легким простукиванием стекла со стороны, противоположной надрезу, вызвать появление общей трещины, объединяющей микроразрушения и направленной по линии реза. Такие удары создают растягивающие напряжения в зоне надреза и позволяют исправить брак.

Затем следует операция разрушения (долома), которая может производиться механическим и термическим способом.

Механический способ. Стекланный лист изгибают по линии реза в направлении от нанесенной трещины до его полного разрушения. Если сечение заготовки велико или имеет сложную форму, долом можно осуществить также за счет легкого постукивания. При этом трещина вырастает до критического размера, и заготовка раскалывается по надрезу.

Термический способ. Методом локального разогрева стекла раскаленной нихромовой проволокой или жалом паяльника создают критические растягивающие напряжения перед надрезом, провоцируя его распространение в желаемом направлении.

Если требования к качеству поверхности разрушения не очень высоки, то термическую резку можно производить и без нанесения надреза. В этом случае для зарождения трещины используют микронесплошности, которые всегда присутствуют в стекле. Часто при этом применяют резкое охлаждение водой нагретой части заготовки.

2 Абразивная обработка стекла.

В этом методе используют высокооборотные абразивные инструменты (алмазные или керамические отрезные, круги и сверла) или металлические инструмента с подачей абразивного порошка в активную зону и последующим удалением продуктов разрушения с помощью рабочей жидкости.

Для получения отверстий в стекле обычно применяют заостренные медные трубки, зажимаемые в патрон сверлильного станка. На поверхность стекла наносят капли рабочей жидкости (скипидар, керосин, вода или жидкое стекло), в которую добавляют порошок окиси алюминия или карборунда. При контакте со стеклом вращающейся медной трубки абразивные частицы впрессовываются в ее торец и начинают срезать микрочастицы стекла. Суспензию периодически обновляют, добавляя новые порции абразива и поверхностно-активной жидкости. Производительность процесса зависит больше от скорости вращения инструмента (1000 об/мин), поэтому давление на стекло не должно превышать применяемого при скрайбировании.

В противном случае возможен скол отверстия, и даже разрушение стекла. По этой же причине не следует вести сверление насквозь с одной стороны. Последние, тонкие слои листа могут не выдержать нагрузки и сколоться. Обычно сверлят с двух сторон до середины толщины листа. Прозрачность стекла позволяет точно совместить оба отверстия.

Аналогично сверлят алмазосодержащими металлокерамическими трубчатыми сверлами. В них алмазный порошок введен в состав сверла при его изготовлении.

Порядок выполнения работы

1 Резка листового стекла.

Перед нарезкой стекла его надо очистить от грязи и пыли, насухо вытереть. Положить стекло на ровный стол, покрытый картоном или сукном. Сделать разметку стекла засечками стеклорезом на его краях.

С помощью деревянной линейки провести стеклорезом одну линию-риск. При этом держать его вертикально острой гранью алмаза в направлении резки. В начале и конце резец не должен цеплять за край стекла – это может повредить стеклорез.

Сдвинуть стекло надрезом на край стола и легким постукиванием корпусом стеклореза по противоположной надрезу стороне стекла подрастить и прогнать трещину по всей длине риски, придерживая висящую часть заготовки. Если при этом стекло не разрушится по резу, нажатием руки отломить полосу стекла.

Обработать торец стекла мелкой наждачной бумагой.

2 Вырезание дисков.

Из листа вырезать стеклорезом квадратную заготовку размером больше диаметра диска на 1...2 см. С помощью лекала провести стеклорезом круговой надрез. С помощью деревянной линейки провести 4 – 5 линейных рисок, касательных к окружности. Простукиванием получить желаемую круговую трещину. С помощью надреза в корпусе стеклореза удалить оставшиеся лишние кромки.

Обработать торец диска наждачной бумагой.

3 Резка стеклянных трубок.

Стеклянные трубки диаметром до 20 мм с толщиной стенки до 2 мм резать аналогично плоскому стеклу:

- нарезать трубку по периметру стеклорезом;
- постукиванием прогнать трещину по всему поперечному сечению заготовки и приложением изгибающего усилия отломить кусок трубки.

Толстые трубки после нанесения надреза алмазом режутся термическим методом. Для этого в месте надреза из нихромовой проволоки диаметром 0,2...0,3 мм сделать плотную петлю вокруг трубки. Концы ее вдеть в бусинку двухканального керамического изолятора и подключить к ЛАТР'у с помощью изолированных проводов. Включить ЛАТР и плавно увеличивая напряжение питания, разогреть петлю докрасна (800 °С). Под действием мощной концентрации термических напряжений стекло треснет в месте нагрева. Для ускорения развития трещины вблизи от нее можно капнуть водой.

Для резки стекла с помощью паяльника применяются модели с мощностью 60...100 Вт. Разогретым жалом паяльника прикоснуться к сделанному на трубке алмазом надрезу и держать до появления видимой трещины. Перемещая паяльник, прогнать ее по всему сечению трубки.

4 Сверление отверстий в стекле.

Медную трубку нужного диаметра закрепить в патроне сверлильного станка. Стеклянную пластину поместить на стол сверлильного станка на листе картона. Нанести на стекло каплю абразивной суспензии (порошок карборунда или окиси алюминия в керосине).

Включить сверлильный станок; придерживая одной рукой пластину, другой рукой привести вращающуюся трубку в соприкосновение с заготовкой и легким нажимом на рукоятку подачи станка начать сверление. Для ускорения процесса можно сообщить инструменту небольшое возвратно-поступательное движение.

Техника безопасности

- Все работы со стеклом проводить в хлопчатобумажных перчатках или рукавицах.
- Удаление осколков и стеклянной пыли проводить только ветошью или щеткой (сдувать категорически воспрещается!).
- При работе с электронагревателем прикасаться к нему запрещается из-за опасности ожога и электрического удара.
- Нанесение суспензии на стекло при сверлении производить только при выключенном станке!

Содержание отчета

Отчет по работе должен включать название, цель работы, краткое описание методов резки стекла, причин брака и дефектов.

Контрольные вопросы

- 1 Свойства стекла.
- 2 Методы механической обработки стекла

Литература: [12].

Лабораторная работа 9

ИЗГОТОВЛЕНИЕ ТЕРМОПАР

Цель работы: ознакомиться с методами изготовления, градуировки и использования термопар для измерения температуры.

Приборы и принадлежности: электродуговая установка, потенциометр ПП-63, термостат, паяльник, термоэлектрические провода, флюс.

Методические указания

Температура является важнейшей характеристикой многих технологических процессов. Она не является непосредственно измеряемой величиной – ее значение определяют по изменению других физических свойств (объем, давление, электрическое сопротивление, интенсивность излучения и др.), связанных с ней определенными закономерностями.

В технике широко применяют для измерения температуры термоэлектрический термометр, который состоит из термопары и милливольтметра (потенциометра).

Термопара состоит из двух, соединенных между собой разнородных электропроводящих элементов (металлов или полупроводников) – термоэлектродов (рис. 9.1, а).

Действие датчика основано на эффекте Зеебека: в замкнутой цепи из разнородных проводников возникает электродвижущая сила (термо-эдс), если места их контактов поддерживать при разных температурах. Это явление объясняется температурной зависимостью контактной разности потенциалов двух материалов, различным влиянием нагрева на тепловые колебания кристаллической решетки и энергию электронов в термоэлектродах. В общем случае характеристика термо-эдс = $f(T)$ нелинейная, однако в определенном (рабочем) диапазоне для каждой термопары ее можно записать в виде:

$$E(t, t_0) = \alpha (t - t_0), \quad (9.1)$$

где $E(t, t_0)$ – термо-эдс, мВ; t_0 – температура холодного спая (рис. 9.1, а, б), град; t – температура горячего спая, град; α – удельная термо-эдс термопары или термосила, мВ/град.

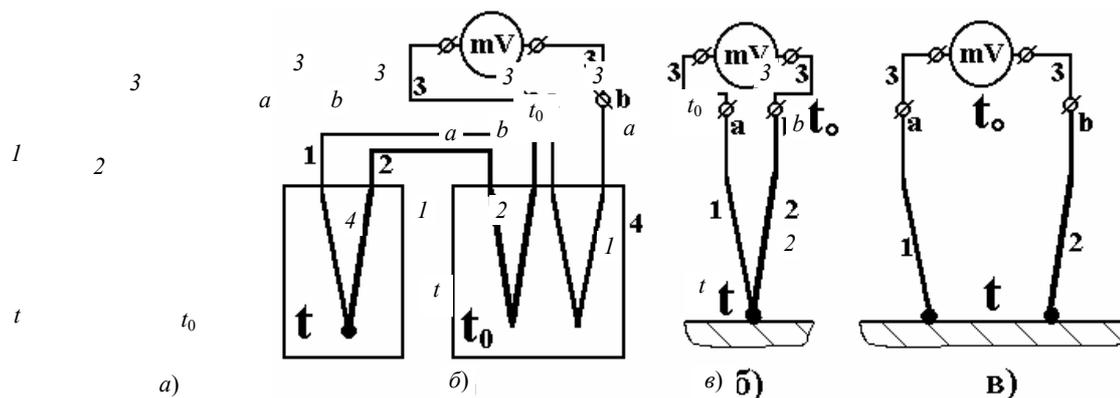


Рис. 9.1 Схема термопары (а) и способы монтажа ее горячего спая (б, в):

1, 2 – термоэлектроды; 3 – компенсационные провода;
4 – объект; mV – измерительный прибор

Для измерения температуры необходимо поддерживать постоянное значение t_0 , тогда температура горячего спая t будет линейно связана с термо-эдс.

Такие датчики позволяют (в зависимости от материала) измерять температуру в диапазоне от -269 до 3000 °С. Они не требуют постороннего источника питания, долговечны, имеют высокую чувствительность и малую инерционность, легко передают показания на расстояние.

Из уравнения (9.1) вытекают следующие свойства термопары:

1 Если в цепь термопары включен третий проводник и его концы находятся при одинаковой температуре, это включение не меняет значения термо-эдс. Этим третьим проводником могут быть провода, соединяющие термопару с измерительным прибором, и проводники самого прибора (рис. 9.1, а). Это может быть электропроводящий участок объекта, среднюю температуру которого измеряют (рис. 9.1, в).

2 Эдс термопары является функцией только двух температур t_0 и t и не зависит от температур других точек ее проводов. Это упрощает установку датчика на объект измерения и соединение его с измерительным прибором.

3 Аддитивность термо-эдс. Если термопара имеет температуры спаев t_2 ($t_2 > t_1$) и t_0 , то $E(t_2, t_0) = E(t_1, t_0) + E(t_2, t_1)$. Это свойство используется при градуировке термопар.

При $t_0 = 0$ значение $E(t, 0)$ является градуировочной функцией преобразования данной термопары. В прил. 3 представлены градуировочные таблицы самых распространенных в промышленности термопар (табл. ПЗ.1). Применяемые с термопарой милливольтметры и потенциометры имеют шкалу, проградуированную в градусах Цельсия для данной пары термоэлектродов.

Обычно в месте холодного спая термопара разомкнута и подключена к измерительному прибору. Если температура холодных (свободных) концов постоянна, то их подключение к потенциометру можно сделать медным проводом. Если в процессе работы холодные концы термопары могут нагреваться, соединение проводят с помощью специальных компенсационных проводов. Их материал подбирается так, чтобы при температуре свободных концов и в паре между собой они имели такие же термоэлектрические свойства, как термопара.

Если при измерениях температура холодных концов t_0 отличается от 0 °С, для компенсации используют поправки ΔE , которые определяют по градуировочным таблицам и прибавляют к измеренной термо-эдс. В потенциометрах это учитывается с помощью специальной компенсационной схемы с использованием терморезистора.

Порядок выполнения работы

1 Получить у преподавателя образцы термоэлектродных проводов для изготовления термопары и сварить термопару.

Термопары диаметром больше 1 мм сваривают в электрической дуге, которую зажигают между углеродными электродами (напряжение питания 20...30 В). Предварительно проволоки в месте сварки скручивают на длину 15...20 мм. Свободные концы в месте скрутки обрезают до длины меньше 1 мм. Затем скрутку смачивают водой и опускают в банку с флюсом (бура – натриевая соль борной кислоты). Сразу после этого (пока флюс не осыпался) вводят скрутку термопары в область дуги на 0,5...1 с. При более длительной сварке полученный спай обгорает.

Качественный спай должен иметь вид блестящего шарика диаметром не более 2 – 3 толщин проволоки. Контроль качества проводят после удаления шлака аккуратным простукиванием полученного спаия на твердом основании.

ВНИМАНИЕ ! Контроль за положением термопары в дуговой установке осуществлять только через защищенное специальным светофильтром окно !

Электрическая дуга является мощным источником ультрафиолета, видимых и инфракрасных лучей – она очень опасна для незащищенных глаз.

При изготовлении вольфрам – ренийевых и других термопар применяют сварку в защитной среде (масло, спирт, вода). На рис. 9.2, а показана схема сварки для термопар толщиной менее 0,5 мм. Сварочное напряжение подается от ЛАТРа на пинцет с изолированной ручкой и графитный электрод, помещенный в ванну с маслом. Термопару, зажатую в пинцете, подводят к электроду до соприкосновения. В момент контакта (время 0,5...1 с) возникает микродуга (появляется свечение и бурление масла), которая формирует надежный спай термопары.

Для получения термопар из проволоки диаметром меньше 0,1 мм используют электроконденсаторную сварку. На рис. 9.2, б показана схема прибора для приварки катодов ППК-1. Концы термопарных проволок 1 зажимают электропинцетом 2, электроды которого соединены с разрядным устройством 3. При этом пинцет надо держать за изолирующие обкладки.

Прибор включают тумблером SB1. Напряжение порядка 20 В подается с выпрямителя на батарею конденсаторов C1 – C5. Мощность разряда определяется их суммарной емкостью, которая устанавливается галетным переключателем SB2 – SB6. Разряд через зажатую в электропинцете термопару происходит при замыкании контакта SB7 нажатием ножной педали. Обычно достаточно одного-двух импульсов. Таким же способом можно приварить тонкую термопару к объекту измерения.

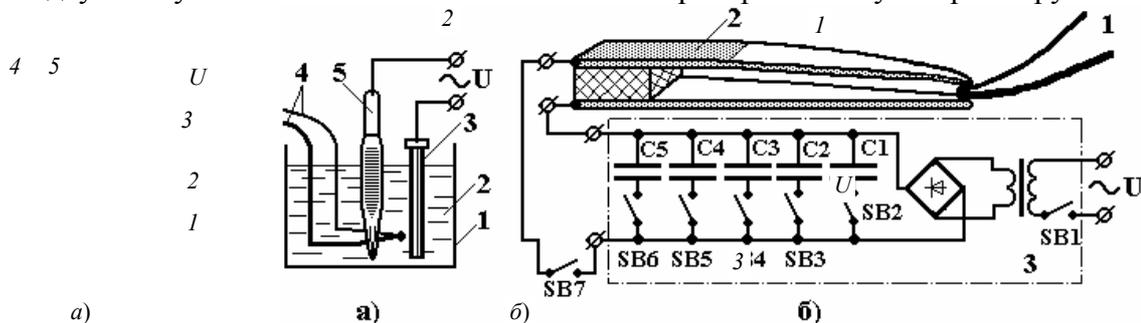


Рис. 9.2 Схемы сварки термопары:

- а – в защитной среде: 1 – емкость; 2 – масло (вода);
- 3 – электрод из графита; 4 – термопара; 5 – пинцет;
- б – конденсаторная сварка: 1 – электроды термопары;
- 2 – электро-пинцет; 3 – разрядный блок

ВНИМАНИЕ ! В момент разряда в створе обкладок пинцета на расстоянии 5...10 см могут вылетать нагретые микрочастицы металла в виде искры. Берегите глаза !

2 Произвести градуировку полученной термопары.

- Присоединить термопару к потенциометру ПП-63, поместив холодные концы термопары в термостат с тающим льдом. Провода термопары предварительно изолировать друг от друга, поместив в тонкую пластиковую трубку. Температуру в термостате (0 °С) контролировать ртутным термометром.

- Горячий спай термопары поместить в печь, температура в которой измеряется образцовой термопарой (обычно используют платинородиевую).

- Включить печь и довести ее температуру до 50 °С.

Измерить термо-эдс калибруемой термопары при $t = 50$ °С ($t_0 = 0$ °С).

- Увеличивать температуру в печи с шагом 50 °С до 250 °С и измерять термо-эдс калибруемой термопары.

- По результатам измерений построить градуировочный график в координатах термо-эдс – температура. Сравнить его с данными прил. 3 (табл. ПЗ.1 – ПЗ.4) и определить тип термопары.

Если известно, что зависимость термо-эдс используемого преобразователя от температуры линейная, то градуировку и поверку его можно провести по отдельным реперным точкам. Измерения проводят при температуре кипения воды (100 °С) и плавления олова (232 °С). Точность такого способа обычно не хуже ± 10 °С.

Содержание отчета

- 1 Схема измерения температуры термопарой.
- 2 Описание метода, который был применен для изготовления термопары.
- 3 Градуировочная кривая сваренной термопары.

Контрольные вопросы

- 1 Устройство и принцип работы термопары.
- 2 Методы изготовления и градуировки термопар.

Литература : [13, 14].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Бунимович Д.З. Краткий курс фотографии. М.: Искусство, 1972. 325 с.
- 2 Морозов С. Фотоглаз ученого. М.: Знание, 1964. 185 с.
- 3 Журба Ю.И. Краткий справочник по фотографическим процессам и материалам. М.: Искусство, 1990. 352 с.
- 4 Захаров Л.Н. Начала техники лабораторных работ. Л.: Химия, 1981. 192 с.

- 5 Фотография: Энциклопедический справочник. Минск: Белорусская энциклопедия им. Петруси Бровки, 1992. 399 с.
- 6 Плужников Б.Ф. Особые приемы фотографии. М.: Искусство, 1978.
- 7 Справочник оператора установок по нанесению покрытий в вакууме / А.И. Костржицкий, В.Ф. Карпов, М.П. Кабанченко и др. М.: Машиностроение, 1991. 176 с.
- 8 Розанов Л.И. Вакуумная техника. М.: Высшая школа, 1982. 207 с.
- 9 Краткий справочник паяльщика / И.Е. Петрунин, И.Ю. Маркова, Л.Л. Гржимальский и др.; Под ред. И.Е. Петрунина. М.: Машиностроение, 1991. 224 с.
- 10 Хряпин В.Е. Справочник паяльщика. М.: Машиностроение, 1981. 348 с.
- 11 Гржимальский Я.Я., Ильевский И.И. Технология и оборудование пайки. М.: Машиностроение, 1979. 240 с.
- 12 Материалы микроэлектронной техники / В.М. Андреев, М.Н. Бронгулеева, С. Н. Дацко и др. М.: Радио и связь, 1989. 352 с.
- 13 Температурные измерения: Справочник / А.А. Геращенко, А.Н. Гордов, А.К. Еремина и др. Киев: Наукова Думка, 1989. 702 с.
- 14 Рогельберг И.Л., Бейлин В.М. Сплавы для термопар. М.: Metallургия, 1983. 360 с.