

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Томский государственный университет систем управления и
радиоэлектроники»
(ТУСУР)
Кафедра радиоэлектронных технологий и экологического мониторинга
(РЭТЭМ)

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий каф. РЭТЭМ
_____ В.И. Туев
« ____ » _____ 2016 г.

ПЕЧАТНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ
Методические указания для выполнения лабораторных работ

Разработали:
Заведующий каф. РЭТЭМ, д.т.н.
_____ В.И. Туев

Ассистент каф. РЭТЭМ
_____ А.П. Шкарупо

Томск 2016

Туев В.И., Шкарупо А.П.

Печатные технологии ЭС: Методические указания для выполнения лабораторных работ / В.И. Туев., А.П. Шкарупо – Томск: ТУСУР, 2016. – 19с.

Настоящее учебно-методическое пособие предназначено для выполнения лабораторных работ по дисциплине Печатные технологии электронных средств. Пособие содержит описание лабораторных работ по разделам дисциплины. В описании каждой лабораторной работе приведен список рекомендуемой литературы. Пособие предназначено для магистрантов, обучающихся по направлениям подготовки 11.04.03 Конструирование и технология электронных средств и 27.04.04 Управление в технических системах.

© Туев В.И., А.П. Шкарупо 2016

© ТУСУР, 2016

СОДЕРЖАНИЕ

Оглавление

1	Требования охраны труда	4
1.1	Требования безопасности работы с электрооборудованием.....	4
1.2	Требования безопасности работы с химическими реактивами	5
1.3	Требования безопасности в аварийных ситуациях	6
2	Порядок оформления работ	7
3	Лабораторная работа №1. (4 часа) ПОЛУЧЕНИЕ ТОНКИХ ПЛЕНОК МЕТОДОМ ЦЕНТРИФУГИРОВАНИЯ.....	8
3.1	Краткая теория.....	8
3.2	Оборудование и оснастка для выполнения лабораторной работы.....	10
3.3	Порядок выполнения лабораторной работы.....	11
3.4	Контрольные вопросы.....	11
4	Лабораторная работа №2. (4 часа) ПОЛУЧЕНИЕ ТОНКИХ ПЛЕНОК МЕТОДОМ СТРУЙНОЙ ПРИНТЕРНОЙ ПЕЧАТИ	13
4.1	Краткая теория.....	13
4.2	Порядок выполнения лабораторной работы.....	18
4.3	Контрольные вопросы.....	19

1 Требования охраны труда

Перед началом лабораторных работ студенты должны получить инструктаж по технике безопасности в лаборатории и ознакомиться с правилами эксплуатации приборов и оборудования, используемого при выполнении работ. Инструктаж проводит преподаватель, ведущий занятия. После проведения инструктажа студент расписывается в регистрационном журнале о том, что он ознакомлен с правилами безопасной работы в лаборатории и обязуется их выполнять. Студенты, не прошедшие инструктаж, к работе не допускаются. Студенты, замеченные в нарушении настоящих правил, отстраняются от выполнения лабораторных работ.

1.1 Требования безопасности работы с электрооборудованием

Каждый студент должен:

1. Знать расположение общих рубильников силовой сети напряжением 220 вольт для того, чтобы в случае необходимости быстро отключить питание от лабораторных установок.

2. Изучить инструкции к используемым приборам и описание лабораторной работы.

3. Ознакомиться с устройством установки.

Запрещается:

- Включать в сеть приборы, вращать ручки настройки без разрешения преподавателя.

- Переставлять приборы из установки.

- Разбирать установку, вскрывать приборы и т.д..

- Начинать проведение эксперимента без разрешения преподавателя.

- Загромождать рабочее место и установку одеждой, сумками и др. посторонними предметами.

Перед началом эксперимента получить допуск у преподавателя.

В присутствии преподавателя включить приборы, входящие в установку, в соответствии с инструкциями к приборам и описанием лабораторной работы.

При нарушении нормальной работы прибора (появление дыма, характерный запах гари и т.п.) немедленно отключить прибор и сообщить об этом преподавателю или зав. лабораторией.

По окончании работы по указанию преподавателя выключить приборы в соответствии с инструкцией и привести в порядок рабочее место.

1.2 Требования безопасности работы с химическими реактивами

1. Запрещается пробовать на вкус химические вещества.
2. Используемые реактивы набирать в пипетку только при помощи резиновой груши или шприца.
3. При взвешивании сыпучих веществ применять тарированные часовые стекла; химические вещества нельзя оставлять на весах.
4. При взбалтывании растворов в колбах или пробирках необходимо закрывать их пробкой.
5. При нагревании жидкостей пробирку следует держать отверстием в сторону от себя и соседей по работе.
6. Во избежание ожогов от брызг и выбросов не наклоняться над сосудом, в котором кипит или налита какая-либо жидкость.
7. При переносе сосудов с горячими жидкостями держать их обеими руками: одной поддерживать дно, другой - верхнюю часть; руки от ожога предохранять полотенцем, которым обертывают сосуд.
8. При работе с горячими и легковоспламеняющимися веществами (эфир, спирты, бензин и т.д.) нельзя нагревать их на открытом огне или сетке.
9. При определении запаха вещества не следует делать глубокого вдоха, а лишь движением руки направлять к себе воздух.
10. Химические стаканы, колбы из обычного стекла нельзя нагревать на

огне без асбестовой сетки. Категорически запрещается использовать посуду, имеющую трещины или отбитые края.

11.Использованную химическую посуду и приборы, содержащие кислоты, щелочи и другие едкие вещества, нужно освобождать от остатков и тщательно мыть. Прежде чем слить в раковину, едкие вещества надо нейтрализовать.

12.Нельзя оставлять без присмотра работающие установки, включенные электронагревательные приборы, газовые горелки.

13.Категорически запрещается выносить реактивы за пределы лаборатории.

14.Все работающие в лаборатории должны быть обеспечены необходимой спецодеждой и средствами индивидуальной защиты: халат, перчатки, бахилы, головные уборы, очки.

15. Работы с токсичными, легковоспламеняющимися и летучими веществами проводить в специализированном вытяжном шкафу.

1.3 Требования безопасности в аварийных ситуациях

1. При появлении запаха гари, дыма или возгорания принять меры по обнаружению источника возгорания и его ликвидации.

2. В случае пожара обесточить помещение, вызвать по телефону 01 пожарную охрану, покинуть помещение.

3. В случае поражения человека электрическим током, необходимо быстро освободить пострадавшего от действия тока. Вызвать врача. Если пострадавший находится без сознания, то нужно привести его в сознание, давая нюхать нашатырный спирт, если пострадавший плохо дышит, начать делать искусственное дыхание и массаж сердца и продолжать их делать до прибытия врача.

4. В случае затопления помещения водой необходимо обесточить помещение, вызвать сантехника, вынести ценное оборудование.

2 Порядок оформления работ

Отчет по лабораторной работе может быть оформлен как в рукописном, так и машинописном виде и должен быть скреплен в виде документа.

Обязательными элементами отчета являются:

- титульный лист, содержащий название вуза, кафедры, название и номер лабораторной работы, наименование дисциплины, по которой выполнена работа, № группы и ФИО студентов, входящих в подгруппу, дату исполнения, ФИО преподавателя, год;
- основная часть, к которой относятся цель работы, лабораторное задание, полученные по работе результаты, оформляемые в табличном, графическом или другом виде, ответы на контрольные вопросы;
- выводы по результатам работы, которые являются важной частью отчета и подлежат защите.

Отчет оформляется в соответствии с требованиями ОС ТУСУР 01-2013.

3 Лабораторная работа №1. (4 часа)

ПОЛУЧЕНИЕ ТОНКИХ ПЛЕНОК МЕТОДОМ ЦЕНТРИФУГИРОВАНИЯ

Цель работы: практическое освоение основных этапов нанесения тонких покрытий методом центрифугирования, включая подготовку (очистку) подложки.

3.1 Краткая теория

Метод центрифугирования используется для получения тонких пленок на плоских подложках. Капля раствора (золя) наносится в центр вращающейся или неподвижной подложки. Под действием центробежной силы капля растекается по поверхности. При вращении одновременно происходит интенсивное испарение жидкой фазы из золя. При центрифугировании толщина и однородность пленок зависят от вязкости, состава золя, поверхностного натяжения, состояния поверхности подложки, а также от параметров процесса – скорости вращения подложки, температуры и влажности окружающей среды. Выделяют 4 основных этапа данного процесса [1].

На первом этапе проводится нанесение покрывающей жидкости на пластину или подложку. Нанесение может быть произведено с помощью сопла, которое разливает или распыляет раствор на покрытие. На этом этапе, как правило, количество покрывающей жидкости превышает количество, необходимое для формирования заданной толщины покрытия. Перед нанесением желательно пропускать раствор через микронный фильтр, чтобы удалить мелкодисперсные частицы, способные испортить конечное покрытие [1].

Второй этап характеризуется удалением жидкости с поверхности пластины или подложки при помощи вращательного движения. В ходе данного процесса на короткое время могут появляться спиральные вихри на

поверхности пластины. Это связано с инерцией в верхней части слоя жидкости при условии, что пластина вращается с ускорением. В конечном результате слой жидкости становится тонким и одинаковым по всей площади подложки.

Третий этап характеризуется утончением слоя жидкости благодаря силе внутреннего трения при вращении подложки с постоянной скоростью. Утончение слоя жидкости происходит, как правило, однородно, хотя в случае с растворами, содержащими летучие растворители, часто можно наблюдать интерференцию по мере их удаления центрифугированием. Часто наблюдаются краевые эффекты, связанные с тем, что жидкость равномерно текла наружу, а на краю формируются капли, которые в дальнейшем отрываются от жидкости. Таким образом, в зависимости от поверхностного натяжения, вязкости, скорости вращения могут образовываться небольшие шарикообразные покрытия разной толщины на концах пластины [1].

На четвертом этапе основной процесс – выпаривание летучих растворителей, повышение вязкости нанесенного материала и его перехода в «гель».

Ключевыми этапами являются: этап 3 (контроль потока) и этап 4 (контроль испарения), которые оказывают наибольшее влияние на конечную толщину покрытия [1].

Достоинствами метода центрифугирования являются: простота, отработанность технологии и удовлетворительная производительность оборудования, а также возможность получать пленки толщиной от долей до единиц микрона со среднеквадратичным отклонением по толщине порядка единиц-десятков ангстрем.

Перед нанесением слоя материала на поверхность подложки методом центрифугирования необходимо провести ее очистку. Для выбора конкретного метода очистки необходимо знать особенности материала подложки и способа ее изготовления, а также возможные виды загрязнений на поверхности подложки. Эффективным способом очистки поверхности подложки от всех видов загрязнений является химическая очистка. При

химической очистке применяют неорганические кислоты, щелочи, а также органические растворители для обеспечения качественной подготовки поверхности перед нанесением покрытий. Для повышения активности процесса химической очистки используют ультразвуковые ванны, как правило, процесс ведут при повышенной температуре раствора.

Технология очистки подложек:

1. Промыть подложку в растворе NH_4OH (5%) при температуре 50°C в течение 5 минут.
2. Поместить подложки в ультразвуковую ванну в растворе NH_4OH (5%) на 5 минут при температуре 50°C .
3. Промыть дважды в дистиллированной воде.
4. Промыть в растворе H_2O_2 (5%) в течение 5 минут.
5. Промыть дважды в дистиллированной воде.
6. Промыть в растворе CH_3COOH (5%) в течение 5 минут.
7. Промыть дважды в дистиллированной воде.
8. Высушить на воздухе при комнатной температуре.

3.2 Оборудование и оснастка для выполнения лабораторной работы

1. Материал (раствор), используемый для нанесения на подложку.
2. Стеклоподложки с нанесенным слоем ИТО.
3. Мульти центрифуга Elmi CM-6M [2,3].
4. Сушильный шкаф Binder E28 [4,5].
5. Растворы: NH_4OH (5%), H_2O_2 (5%), CH_3COOH (5%).
6. Дистиллированная вода.
7. Источник/измеритель Keithley 2410[6].
8. Ультразвуковая ванна.
9. Сплав Ga-In.
10. Стеклопалочка.

3.3 Порядок выполнения лабораторной работы

1. Подготовить (очистить) подложку, по технологии указанной выше.
2. Нанести материал (раствор) методом центрифугирования на стеклянную подложку:
 - 2.1. Закрепить подложку в центрифуге Elmi CM-6M.
 - 2.2. Установить количество оборотов, заданных руководителем, включить установку.
 - 2.3. Нанести на вращающую подложку сверху каплю материала (раствора) при помощи пипетки.
 - 2.4. Через 45 сек. отключить центрифугу.
 - 2.5. Достать образец и поместить в сушильный шкаф Binder E28 на 30 минут при 120°C.
3. Нанести на полученную пленку сплав Ga-In.
4. Измерить вольт-амперные характеристики полученного покрытия, используя источник/измеритель Keithley 2410.
5. Рассчитать дифференциальное сопротивление покрытия при токе 1 мА.
6. Составить отчет по лабораторной работе.

3.4 Контрольные вопросы

1. Какие химические реактивы используют для подготовки (отмывки) подложек?
2. Какой рабочий режим центрифугирования наиболее подходит для образцов с равномерным покрытием?
3. Охарактеризовать полученные вольт-амперные характеристики, используя полученные графики.
4. Дайте определение вязкости.

Список литературы

1. Технология нанесения покрытия методом центрифугирования [Электронный ресурс] / URL: <https://www.czl.ru/applications/spin-coating-technology/> (дата обращения: 12.12.2016).

2. Инструкция по охране труда для работников и студентов ТУСУР при работе с лабораторной центрифугой СМ-6М. согласована председателем профкома сотрудников ТУСУР. Утверждена ректором ТУСУР, 2011г.

3. Лабораторная центрифуга СМ-6М. Руководство пользователя.

4. Инструкция по охране труда для работников и студентов ТУСУР при работе с лабораторной инкубатором BINDER АРТ. Line E/B 28. согласована председателем профкома сотрудников. Утверждена ректором ТУСУР . 2011г.

5. BINDER АРТ. серии E/B28. Руководство пользователя.

6. Калибраторы-измерители напряжения и силы тока Keithley серии 2400 Краткое руководство пользователя 2400S-900-01R, январь 2012[Электронный ресурс] / URL <http://www.studfiles.ru/preview/5428445/> (дата обращения: 12.12.2016).

4 Лабораторная работа №2. (4 часа) ПОЛУЧЕНИЕ ТОНКИХ ПЛЕНОК МЕТОДОМ СТРУЙНОЙ ПРИНТЕРНОЙ ПЕЧАТИ

Цель работы: изучение основных принципов работы автоматизированного программно-аппаратного комплекса (АПАК). Практическое освоение технологии получения тонких покрытий на основе органических полимеров методом струйной принтерной печати.

4.1 Краткая теория

Струйная печать позволяет печатать различные элементы, как пассивные, так и активные, также с помощью этого вида печати можно создавать проводящий рисунок на плате. К преимуществам струйной принтерной печати можно отнести следующие показатели:

- широкий выбор материала подложки;
- автоматизация процесса печати;
- возможность изменять параметры печати и т.д.

В данной работе печать будет производиться на автоматизированном программно-аппаратном комплексе (АПАК) фирмы «САН» [1]. Технические характеристики принтера указаны в таблице 1.

Таблица 1 – Технические характеристики АПАК

Модель	АПАК-02.13
Используемые печатающие головки	Dimatix
Количество печатающих головок	1
Диаметр сопла	1-10 пкл
Количество сопел	16
Вакуумный слот	Да
Подогрев вакуумного стола	Да
Точность позиционирования по оси X, Y	±25 мкм

Размер подложки	Толщина 0 – 0,5 мм	210x315 мм
	Толщина 0,5 – 25 мм	
Точность позиционирования по оси Z		±10 мкм
Окружающая среда	Влажность	45–75%
	Температура	20–270С
Рабочее поле		300x200 мм
Разрешение печати		до 5080 dpi
Управление с компьютера		Да
Электрический ток на входе устройства		- переменный, напряжение: 220 ± 10% В - частота 50 Гц

АПАК состоит из принтера и персонального компьютера с предустановленным ПО. Также прилагается руководство пользователя, где описаны основные шаги для настройки и запуска печати. Главными настройками, которые определяют параметры печати, являются настройки картриджа. Помимо выбора разрешения, которое осуществляется ручным поворотом картриджа в каретке на нужный угол, согласно таблице приведенной в руководстве пользователя, требуется произвести настройку формы импульса, настройку напряжения для сопел и контроля вибрации мениска [1]. Настройки напряжения могут быть произведены отдельно для каждого сопла, так как в процессе печати может быть использовано от 1 до 16 сопел, имеющих на печатающей головке. Программное обеспечение автоматически компенсирует отключенные сопла включенными. Напряжение влияет на скорость падения капель. На рисунке 1 представлен график зависимости скорости падения капель при различной вязкости жидкости.

Контроль вибрации мениска позволяет контролировать низкую амплитуду импульса, который подается на сопла, чтобы просто переместить мениск не извлекая ни капли. Для некоторых материалов это предохраняет

сопла от очистки поверхности из-за испарения жидкости. Необходимость использования этой настройки определяется опытным путем с конкретными чернилами во время работы. Можно отключить и использовать настройки по умолчанию.

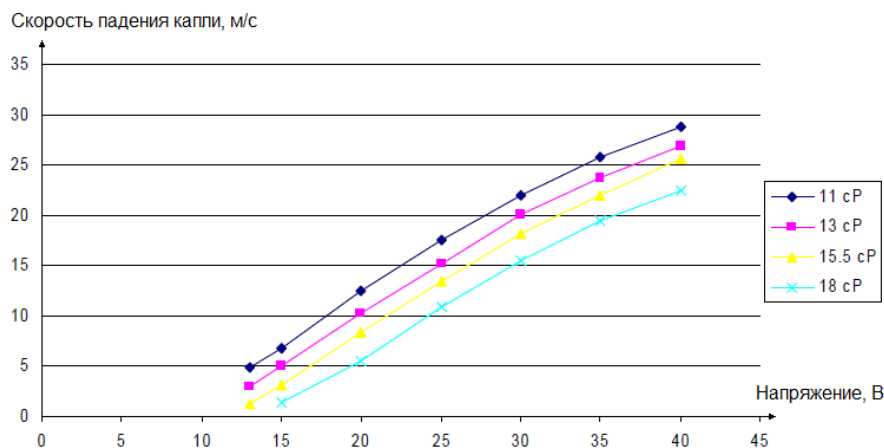


Рисунок 1 – График зависимости скорости падения капли от напряжения

В настройках картриджа (рисунок 2) можно выставить температуру картриджа. Это требуется для получения необходимой вязкости используемой жидкости. Чем выше температура, тем ниже вязкость. Выбор количества сопел позволяет выбрать необходимое количество сопел при печати. Высота каретки над материалом может изменяться в диапазоне от 0,25 мм до 1,5 мм.

Вкладка «циклы очистки» (рисунок 3) позволяет настраивать, как печатающая головка чистится, во время печати и после. Некоторые жидкости нуждаются в периодическом обслуживании, прочистки сопел, для стабильной печати.

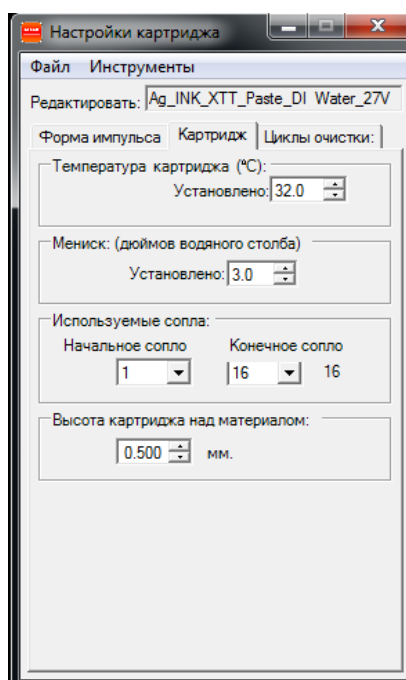


Рисунок 2 – Вкладка «Картридж»

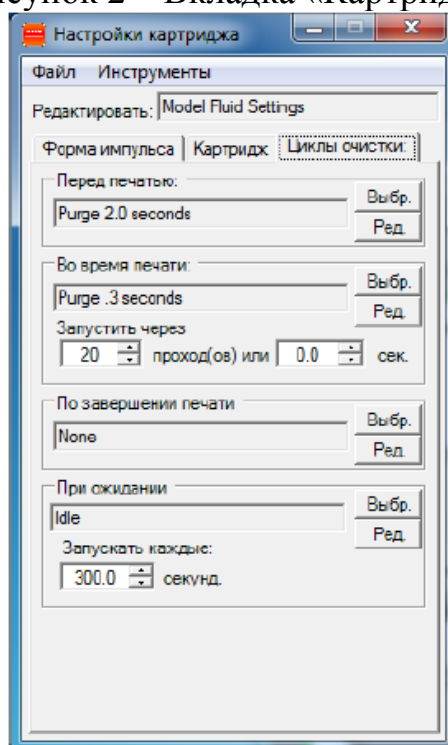


Рисунок 3 – Вкладка «Циклы очистки»

Перед началом печати требуется установить угол печатающей головки, который определяет разрешающую способность печати. Возможности контроля расстояния между каплями у АПАК лежат в диапазоне от 5 мкм (что соответствует разрешению 5080 dpi) до 254 мкм (100 dpi). Значения разрешения, угла печатающей головки и расстояния между каплями приведены в сводной таблице 2.

Таблица 2 – Разрешение относительно угла

Разрешение, Dpi	Угол, °	Расстояние, мкм	Разрешение, dpi	Угол, °	Расстояние, мкм
5080,00	1,1	5	188,15	32,1	135
2540,00	2,3	10	181,43	33,4	140
1693,33	3,4	15	175,17	34,8	145
1270,00	4,5	20	169,33	36,2	150
1016,00	5,6	25	163,87	37,6	155
846,67	6,8	30	158,75	39,0	160
725,71	7,9	35	153,94	40,5	165
635,00	9,1	40	149,41	42,0	170
564,44	10,2	45	145,14	43,5	175
508,00	11,4	50	141,11	45,1	180
461,82	12,5	55	137,30	46,7	185
423,33	13,7	60	133,68	48,4	190
390,77	14,8	65	130,26	50,1	195
362,86	16,0	70	127,00	51,9	200
338,67	17,2	75	123,90	53,8	205
317,50	18,4	80	120,95	55,8	210
298,82	19,6	85	118,14	57,8	215
282,22	20,8	90	115,45	60,0	220
267,37	22,0	95	112,89	62,4	225
254,00	23,2	100	110,43	64,9	230
241,90	24,4	105	108,09	67,7	235
230,91	25,7	110	105,83	70,9	240
220,87	26,9	115	130,67	74,7	245
211,67	28,2	120	101,60	79,8	250
203,20	29,5	125	100,00	90	254
195,38	30,8	130			

Оборудование и оснастка для выполнения лабораторной работы

1. Растворы материалов (чернила), удовлетворяющие требованиям используемого принтера.
2. Стекланные подложки, стекла марки «M0».
3. Автоматизированный программно-аппаратный комплекс (АПАК) [1].
4. Сушильный шкаф ПЭ-0041.
5. Источник/измеритель Keithley 2410[2].
6. Растворы: NH_4OH (5%), H_2O_2 (5%), CH_3COOH (5%).
7. Дистиллированная вода.
8. Ультразвуковая ванна.

4.2 Порядок выполнения лабораторной работы

1. Подготовить (очистить) подложки.
 - 1.1. Промыть подложку в растворе NH_4OH (5%) при температуре 50°C в течение 5 минут.
 - 1.2. Поместить подложки в ультразвуковую ванну в растворе NH_4OH (5%) на 5 минут при температуре 50°C .
 - 1.3. Промыть дважды в дистиллированной воде.
 - 1.4. Промыть в растворе H_2O_2 (5%) в течение 5 минут.
 - 1.5. Промыть дважды в дистиллированной воде.
 - 1.6. Промыть в растворе CH_3COOH (5%) в течение 5 минут.
 - 1.7. Промыть дважды в дистиллированной воде.
 - 1.8. Высушить на воздухе при комнатной температуре.
2. Произвести настройки АПАК, удовлетворяющих требованию заданной работы.
 - 2.1. Выставить температуру картриджа – 24°C .
 - 2.2. Выставить температуру стола для печати – 30°C .
 - 2.3. Заправить картридж принтера – 1,5 мл готовых чернил.
3. Напечатать 5 дорожек со следующими параметрами:
 - 3.1. Линия №1 – один слой, разрешение – 726 DPI, расстояние между точками – 35 мкм.
 - 3.2. Линия №2 – один слой, разрешение – 1016 DPI, расстояние между точками – 25 мкм.
 - 3.3. Линия №3 – один слой, разрешение – 1693 DPI, расстояние между точками – 15 мкм.
 - 3.4. Линия №4 – один слой, разрешение – 2540 DPI, расстояние между точками – 10 мкм.
 - 3.5. Линия №5 – один слой, разрешение - 5080 DPI, расстояние между точками – 5 мкм.
4. Поместить образец в сушильный шкаф ПЭ-0041 на 15 минут при 100°C .

5. Оценить вольт-амперные характеристики полученного покрытия, используя источник/измеритель Keithley 2410.
6. Составить отчёт по лабораторной работе.

4.3 Контрольные вопросы

1. Опишите принцип образования капли в автоматизированном программно-аппаратном комплексе (АПАК)?
2. Причины изменения электропроводности с увеличением разрешения печати?
3. Рассчитайте дифференциальное сопротивление, используя полученные графики.

Список литературы

1. Автоматизированный программно-аппаратный комплекс: Руководство пользователя. САН Инновации, 2013 – 41 с.
2. Калибраторы-измерители напряжения и силы тока Keithley серии 2400 Краткое руководство пользователя 2400S-900-01R, январь 2012[Электронный ресурс] / URL <http://www.studfiles.ru/preview/5428445/> (дата обращения: 12.12.2016).