

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

САМАРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АЭРОКОСМИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ имени академика С.П.КОРОЛЁВА

ИЗУЧЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА
ИЗГОТОВЛЕНИЯ ТОЛСТОПЛЁНОЧНЫХ
ГИБРИДНЫХ ИНТЕГРАЛЬНЫХ МИКРОСХЕМ

Методические указания к лабораторной работе
по курсу “Технологические процессы микроэлектроники”

САМАРА 2002

Составители: *В.Д. Дмитриев, М.Н. Пиганов, А.И. Меркулов*

УДК 621.38(075)

Изучение технологического процесса изготовления толстоплёночных гибридных интегральных микросхем. Метод.указания к лаб. работе / Самар. гос. аэрокосм. ун-т; Сост. *В.Д.Дмитриев, М.Н.Пиганов, А.И.Меркулов.* Самара,2002.20с.

Приведены теоретические сведения по технологии изготовления толстоплёночных гибридных интегральных микросхем (ГИМС). Описаны основные узлы и блоки полуавтомата трафаретной печати типа ПТП-1, а также порядок работы на нём для приобретения практических навыков изготовления толстоплёночных ГИМС.

Рекомендуются студентам специальности 20.08.00 при изучении дисциплины «Технологические процессы микроэлектроники».

Печатаются по решению редакционно-издательского совета Самарского государственного аэрокосмического университета им. академика С.П. Королева

Рецензент: *В. А. Глазунов*

Цель работы – изучение технологического процесса изготовления толстоплёночных гибридных интегральных микросхем.

Задание:

1. Ознакомиться с теорией получения толстоплёночных ГИМС.
2. Изучить состав наносимых паст.
3. Ознакомиться с методами изготовления трафаретов.
4. Изучить типовой техпроцесс изготовления ГИМС (макет).
5. Изучить типовой технологический процесс нанесения паст.
6. Изучить установку ПТП-1 (полуавтомат трафаретной печати).

1. Общие сведения

Толстоплёночные ГИМС выполняют методом трафаретной печати последовательным нанесением на керамическую подложку различных по составу паст с их последующим вжиганием, в результате которого образуется прочная монолитная структура с толщиной плёнки 10 – 70 мкм. Применяемые при этом материалы для элементов (проводники и контактные площадки, резисторы, конденсаторы) и подложек ориентированы на использование высокопроизводительных и дешёвых технологических процессов. Относительно малые затраты на подготовку производства делают толстоплёночную технологию экономически целесообразной и в мелкосерийном производстве. Общая схема техпроцесса изготовления толстоплёночных ГИМС показана на рис. 1.

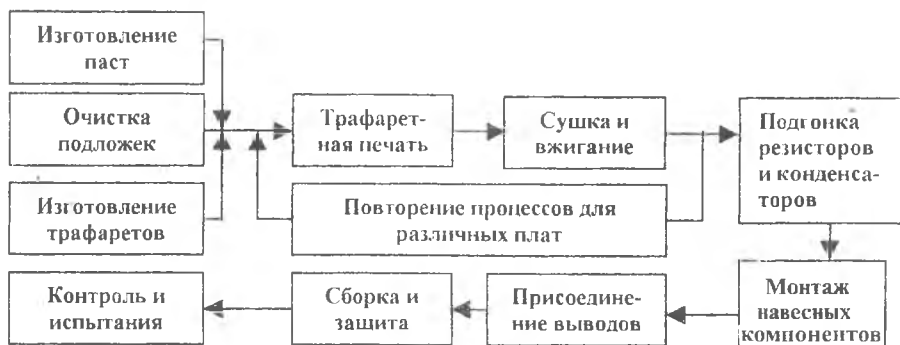


Рис. 1. Общая схема техпроцесса изготовления толстоплёночных интегральных микросхем

Изготовление толстоплёночных ИМС начинают с подготовки поверхности подложки и изготовления паст и трафаретов, затем на подложку наносят требуемый рисунок слоёв. После каждого цикла нанесения соответствующего слоя следует процесс термообработки для закрепления его на подложке и придания заданных свойств материалу слоя. Поскольку температура вжигания проводящих, резистивных и диэлектрических паст различна, последовательность нанесения слоёв должна быть вполне определённой. Сначала наносят слой с наибольшей температурой вжигания – проводящую пасту, образующую проводники, контактные площадки и нижние обкладки конденсаторов, а затем – пасту для диэлектриков конденсаторов и в местах возможных пересечений проводников, третьим слоем наносят пасту для верхних обкладок конденсаторов и оставшейся части проводников. Последними наносят резистивные пасты. После изготовления пассивных элементов интегральной микросхемы производят лужение контактных площадок.

Наиболее распространённым материалом для подложек толстоплёночных ИМС является алюмооксидная керамика. Она обладает высокой механической прочностью, имеет хорошую теплопроводность, химическую инертность к наносимым материалам, химическую и физическую стойкость при нагреве, высокое удельное объёмное сопротивление. Отечественной промышленностью с указанными свойствами выпускается керамика марки ВК-94-1 (22ХС) красного и темно-красного цвета.

Пасты представляют собой суспензии наполнителя и стекла в какой-либо органической связующей жидкости или растворителе. Наполнитель является основой пасты и придаёт плёнкам необходимые резистивные, проводящие или диэлектрические свойства.

В качестве наполнителей проводниковых паст используются металлы и сплавы. Наполнители паст должны обладать крайне низкой химической активностью при высоких температурах термообработки в окружающей среде и при соприкосновении с химически активным стеклом, а также должны быть восприимчивы и устойчивы (нерастворимы) к воздействию припоя при пайке. Этим объясняется применение в качестве наполнителей благородных металлов: золота, серебра; сплавов: золото – палладий, золото – платина, серебро – палладий и др.

Свойства проводящих составов паст на основе благородных металлов приведены в табл. 1.

Свойства проводящих паст

Характеристика	Наполнитель					
	Ag	Pt-Au	Pd-Au	Pt-Pd-Au	Au	Pd-Ag
Удельное поверхностное сопротивление, Ом/□	0,005	0,05... 0,12	0,005... 0,1	0,08... 0,1	0,003... 0,01	0,04
Температура обжига, °С	500... 850	875... 1000	900... 975	760... 1000	850... 1000	690... 760

Для изготовления резистивных паст в качестве наполнителей применяют серебро, золото, палладий, рутений, рений, оксиды таллия, рутения, а также различные композиции: серебро-палладий-оксид палладия, серебро-оксид рутения, рутений-иридий, платина-оксид иридия и др. Толстоплёночные резисторы имеют номиналы сопротивлений от 1 до 10^7 Ом, удельное сопротивление от 1 до 10^7 Ом/□ (табл.2), толщина резистивного слоя 10 – 25 мкм.

Таблица 2

Параметры некоторых резистивных слоёв

Параметры	Металлическая основа пасты		
	Pt-Ag	Ru	Ir
Удельное поверхностное сопротивление, Ом/□	$1...10^6$	$1...10^7$	$1...10^7$
ТКС, $10^{-6} / ^\circ\text{C}$	200...500	100...200	0...100

В качестве наполнителей диэлектрических паст для конденсаторов применяют смеси керамических материалов и флюсов, а также стекла и сегнетоэлектрических материалов. Пасты для диэлектрического слоя конденсаторов подбирают с таким расчётом, чтобы образованные слои имели высокую диэлектрическую проницаемость и напряжение пробоя при незначительном $\text{tg } \delta$.

Например, пасты на основе композиции титанат бария - оксид титана - оксид алюминия – легкоплавкое стекло имеют диэлектрическую проницаемость от 10 до 2000. В диэлектрическом слое не должно быть проколов и трещин. Первые возникают в результате печатания на шероховатой поверхности проводящего слоя или при

наличии пузырьков и раковин, появляющихся во время термообработки диэлектрика. Уменьшение количества проколов обычно достигается двойным печатанием диэлектрической пасты. Трещины могут появляться при несогласовании коэффициентов теплового расширения материалов плёнки и подложки. Воспроизводимость номинала ёмкости конденсатора зависит от точности размеров элементов на трафарете, от толщины диэлектрического слоя, определяемой, с одной стороны, точностью воспроизведения толщины сетки трафарета и зазором между трафаретом и подложкой, а с другой стороны, воспроизводимостью процесса формирования слоя диэлектрика.

Трафареты. Для получения рисунка слоёв элементов используют различные типы трафаретов (сетчатые и фольговые). Трафарет не только обеспечивает конфигурацию рисунка, но и помогает дозировать пасту, поступающую на подложку. Процесс дозирования осуществляется с помощью ракеля (полиуретанового, фторопластового) путём продавливания пасты через ячейки в сетке трафарета или открытые области в металлической фольге. В табл. 3 приведены характеристики сеток с мелким переплетением.

Таблица 3

Характеристики сеток с мелким переплетением

Число отверстий /материал	Диаметр нити, мкм	Размер ячеек, мкм	Толщина сетки, мкм
280/СС	30	61	76
280-С/Н	33	58	51
280-Н/Д/Д	41	46	66
280-Т/МП	37	54	55...65
300/СС	32	56	71
306-С/Н	30	53	44
305-Т/Д	33	51	57...65
325/СС	28	51	71
330-С/Н	30	46	47
330-Т/Д	33	43	61...62
330-Т/МП	38	31	-
400/СС	25	38	56
380-С/Н	30	35	48
390/Д	33	32	55
390-Т/МП	38	31	-

Примечание. СС – стальная сетка; Н – нейлон; Д – дакрон; МП – металлизированный полиэфир; Т – текстильная нить.

Трафаретная печать элементов. Перенос рисунка трафарета на подложку возможен контактным и бесконтактным способами. При

контактном способе трафарет плотно прилегает к поверхности подложки, а при бесконтактном способе (рис.2) трафарет располагают над подложкой с зазором.

Схема печати (бесконтактный способ) показана на рис. 2.

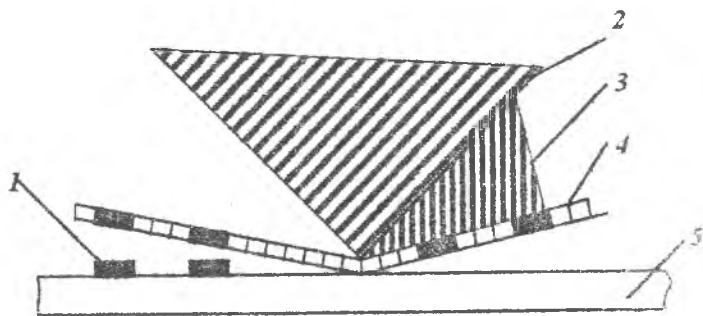


Рис. 2. Схема печати: 1 – паста на поверхности подложки, 2 – ракель; 3 – паста; 4 – трафарет с окнами; 5 – подложка

По мере продвижения ракеля паста заполняет открытые участки трафарета, если их нет, то паста с него стирается. После прохождения ракелем места нанесения пасты трафарет отходит от поверхности подложки. Паста под действием давления входит в контакт с подложкой и прилипает к ней – получается отпечатанный через трафарет рисунок. Высота положения ракеля регулируется с помощью микровинта так, чтобы последний достаточно плотно прилегал к сетке трафарета и создавал контакт между трафаретом и поверхностью подложки. Расстояние между трафаретом и подложкой зависит от размеров подложки, типа трафарета и состава пасты и обычно составляет 0,25...1,27 мм. Давление на пасту, возникающее при перемещении ракеля, зависит от скорости перемещения ракеля, угла его наклона, поверхности трафарета и плотности прижатия ракеля к трафарету. От сочетания указанных факторов зависит толщина печатных элементов, их чёткость и воспроизводимость. По мере увеличения скорости возрастает давление, под действием которого за меньшее время через отверстия продавливается большее количество пасты. Кроме того, большинство паст по своему составу представляют собой

вещества, у которых вязкость уменьшается с увеличением сдвигающего усилия или с возрастанием скорости. Скорость рабочего хода ракеля может достигать 100 – 120 мм/с. Угол наклона между рабочей плоскостью ракеля и трафаретом составляет 45...60°. При уменьшении угла от 45 до 40° возрастает количество продавливаемой пасты и соответственно увеличиваются толщины отпечатанных элементов, а при малых углах наклона ракель проскальзывает через пасту. Перемещение ракеля должно быть плавным, с постоянной скоростью, в противном случае напечатанные элементы будут иметь различную толщину. В зависимости от свойств пасты и силы давления на ракель профиль нанесённого на подложку слоя может быть различным (рис.3).

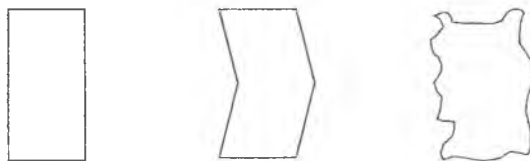


Рис.3 Дефекты при изготовлении элементов методом трафаретной печати

Для нанесения паст на подложку методом трафаретной печати используют полуавтоматические и автоматические устройства, например ПТП-2, ГГ-2323 и др.

Процессы сушки и вжигания. После нанесения пасты на керамическую подложку необходимо, с целью выравнивания следов сетки, выделить некоторое время (10...20 мин) на её усадку. После этой процедуры плёнку сушат в печах при температуре 100...150°С под действием инфракрасных лучей. Процесс сушки необходим для удаления летучих компонентов пасты. Время сушки зависит от типа пасты и составляет 5...15 мин.

После сушки пасты приступают к её вжиганию в конвейерных печах. Температура вжигания зависит от типа пасты. Процесс вжигания паст проводят в два этапа. На первом этапе при температуре 300...350°С происходит выжигание органической связки. Этот процесс проводят при медленном подъёме температуры, чтобы в плёнках не возникали сквозные отверстия, что особо нежелательно для диэлектрических слоёв. Второй этап – спекание пасты проводят

при более высоких температурах 700...1000°C (в зависимости от типа паст), он более критичен к колебаниям температуры. Этот этап наиболее ответственен, так как происходящие при спекании химические реакции между компонентами пасты, пастой и подложкой, пастой и средой внутри муфельной печи определяют основные электрофизические свойства толстоплёночных элементов. Упрощённая схема конвейерной печи и примерный температурный режим процессов сушки и вжигания приведены на рис. 4. В промышленности для этих процессов широко используют конвейерную печь типа СК-10/16,6-5.

Диапазон рабочих температур, °С.....	200...1000
Число тепловых зон.....	5
Скорость движения конвейера, мм /мин.....	15...150
Габаритные размеры, мм	4950x1125x1360
Масса, кг.	2000

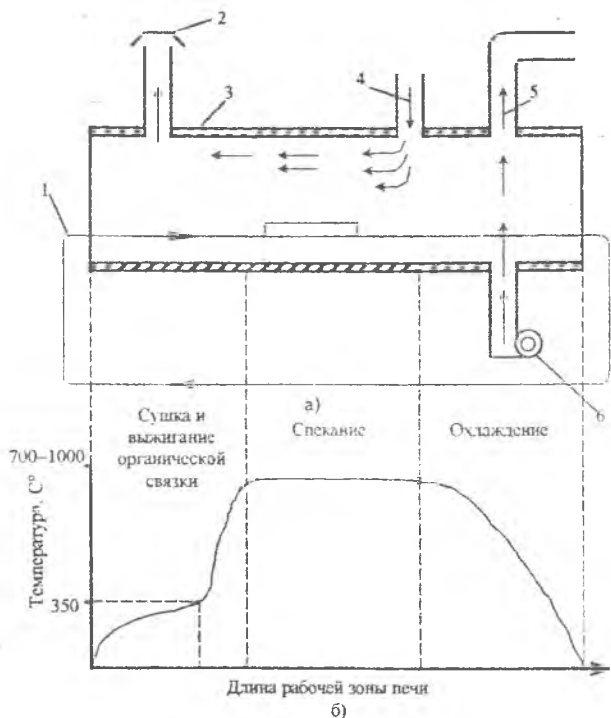


Рис. 4. Схема конвейерной печи термообработки паст (а) и график распределения температуры вдоль печи (б): 1 - конвейерная лента; 2 - вентиляционная система; 3 - кварцевый муфель печи (рабочие зоны); 4 - продувка сухим воздухом; 5 - воздушная завеса; 6 - вентилятор

2. Описание лабораторной установки ПТП-1

Полуавтомат трафаретной печати ПТП-1 предназначен для нанесения паст на плоские подложки через трафаретные сетчатые и металлические маски при производстве гибридных интегральных микросхем.

Технические характеристики:

Размеры подложки, мм, не более.....	60x48
Максимальное перемещение столика по осям X и Y, мм... ..	10
Угол поворота столика, град.....	±7,5
Рабочий ход, мм.....	70
Скорость ракеля, мм/с.....	10...80
Давление ракеля, кгс/см ²	146
Питание.....	220 В
Габариты, мм.....	815x340x360
Масса, кг.....	50

Конструктивно ПТП-1 выполнен в настольном варианте (рис. 5). Внутри корпуса расположены: электрический двигатель постоянного тока, регулятор напряжения типа РНО-250-0,5, плата с электроэлементами и соединительный монтаж с кабелем питания 220 В. В боковых стенках корпуса установлены подшипники, на которых вращается ходовой винт 8. Вращение на ходовой винт передаётся от электродвигателя постоянного тока посредством ременной передачи. С ходовым винтом связана гайка 6 со скобой 5, по направляющим которой перемещается водило с ремнём. По направляющим водила может перемещаться подпружиненный кронштейн 7 с полиуретановым ракелем 4, предназначенным для нанесения пасты через трафарет. На задней стенке корпуса закреплена направляющая с двумя параллельными пазами и двумя переходами из паза в паз с замковыми флажками. Ролик водила при движении по пазам и переходам направляющей осуществляет перемещение кронштейна 7 с ракелем 4.

На направляющей установлены два микропереключателя, предназначенные для изменения направления вращения электродвигателя в конце рабочего хода и его остановки в исходном положении ракеля. Доступ к микропереключателям, а также к клеммам электродвигателя и ременной передаче обеспечивается путём снятия кожуха 12. На верхней плите корпуса установлена направляющая 11,

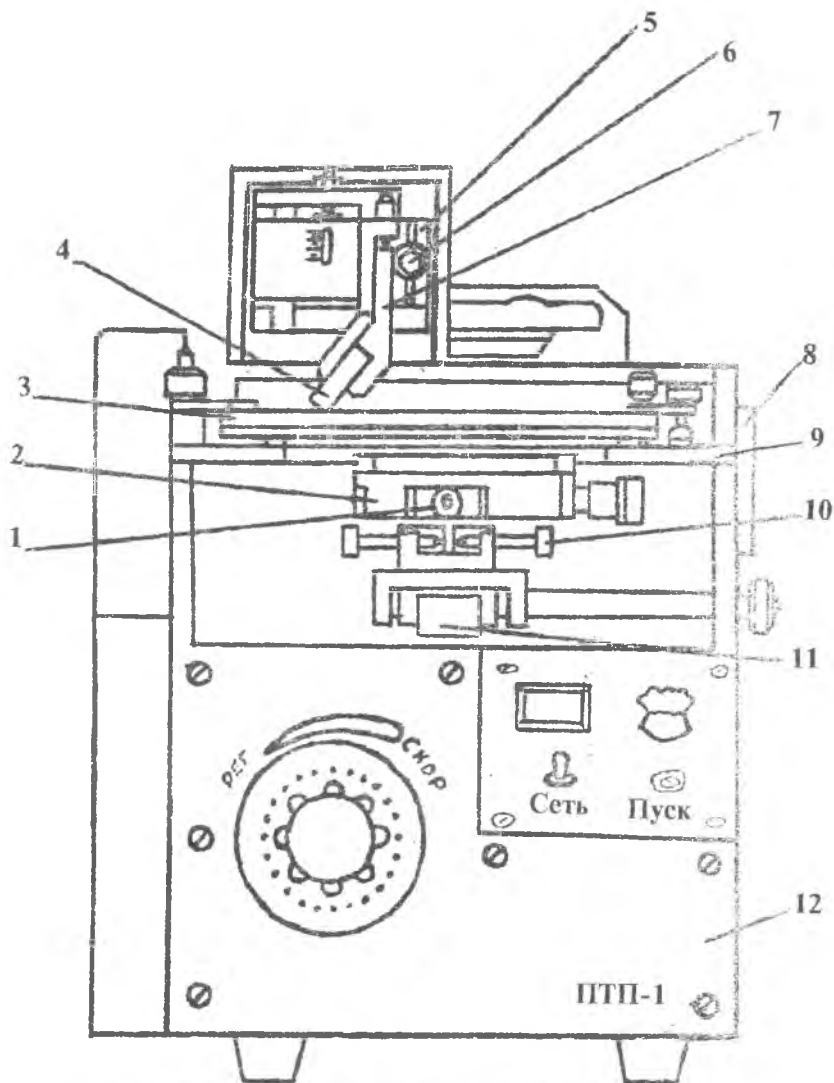


Рис. 5. Общий вид полуавтомата трафаретной печати

по которой перемещается узел стола 2, имеющий микровинты 1 для регулировки положения по осям X и Y и винты 10 углового перемещения. На боковых стенках над верхней плитой 9 закреплена панель, на которой устанавливается рамка с трафаретом 3.

На лицевой панели установлены органы управления: тумблер **Сеть** – включение питания устройства; кнопки **Пуск** – включение электродвигателя; **Регулятор скорости** – регулировка скорости перемещения ракеля.

Таблица 4

Типовой технологический процесс нанесения пасты

№ операции	№ перехода	Наименование и содержание операции, перехода	Технологический режим
1	2	3	4
005		Подготовка технологического оборудования	Установка для трафаретной печати
	1.	Установить ложемент в установку в соответствии с типоразмером подложки	
	2.	Включить установку	
	3.	Протереть столик для установки подложки и раму трафарета салфеткой, смоченной спиртом	
	4.	Установить трафарет на установку согласно КД на конкретную подложку	
	5.	Установить режим нанесения пасты на установке	1)Скорость движения ракеля 2)Зазор между плоскостью подложки и трафаретом 3)Давление ракеля
	6.	Установить подложку на столик установки так, чтобы её угол, обозначенный выходной контактной площадкой с выступом, находился в левом нижнем углу столика относительно оператора	
	7.	Нанести пасту на трафарет ровным слоем по всей ширине ракеля Нанести пасту через трафарет на подложку Снять плату (подложку) со столика	

1	2	3	4
	10.	Повторить переходы 4-9 для 2-3 подложек	Установка трафаретной печати
	11.	Произвести сплошной визуальный контроль слоев на соответствие техническим требованиям (ТТ)	
	12.	Определить величину несоответствия нанесенного слоя пасты с подложкой с помощью регулировочных винтов установки	
	13.	Откорректировать режим нанесения пасты Переход выполняется при несоответствии поверхности нанесенного слоя ТТ	
	14.	Выполнить операцию 010 и переходы 5-13 операции 005 Переход выполнять до получения отпечатков пасты, соответствующих ТТ	
010		Промывка Операция выполняется при несоответствии поверхности нанесенного слоя ТТ	1) Скорость движения ракеля 2) Зазор между плоскостью подложки и трафаретом 3) Давление ракеля
	1.	Промывать плату последовательно в трех емкостях	Время (3±1) мин
	2.	Сушить плату на воздухе	
015		Нанесение пасты 1. Установить подложку на столик установки 2. Нанести пасту через трафарет на подложку При паличии остатков пасты в ячейках сетки производить очистку трафарета от пасты со стороны покрытия сухой салфеткой	Установка трафаретной печати

1	2	3	4
020	3.	Снять пасту со столика и положить на керамическую кассету Переход выполнять при отсутствии операции сушки плат Контроль внешнего вида	
025	1.	Произвести сплошной визуальный контроль поверхности нанесенного слоя пасты на соответствие ТТ Очистка	
	1.	Поместить трафарет в ванну с бензином	
	2.	Смыть пасту с обеих сторон трафарета салфеткой	
	3.	Протереть сетку трафарета с обеих сторон салфеткой, смоченной спиртом	
	4	Произвести сплошной визуальный контроль поверхности трафарета на отсутствие в ячейках сетки остатков пасты При наличии пасты повторить переходы 1-4	
	5.	Сушить трафарет	

3. Порядок выполнения работы

А. Исследовать процесс формирования рисунка слоя пасты на поверхности подложки в зависимости :

от вязкости пасты (два типа пасты);

зазора h между ракелем и трафаретом (два значения $h1=$, $h2=$, мм);

зазора d между трафаретом и поверхностью подложки при оптимальном значении h (два значения $d1=$, $d2=$, мм);

направления нанесения пасты через узкое длинное окно трафарета (продольное и поперечное движение ракеля).

Отклонение параметров и конфигурацию нанесённого слоя пасты исследовать на микроскопе.

Б. Для исследований необходимо:

1. Подготовить устройство ПТП-1 к работе:

- а) включить тумблер *Сеть*, при этом должна загореться лампочка индикации включения сети;
 - б) нажать кнопку *Пуск*, при этом ракель должен совершить прямой и обратный ход; выключить тумблер *Сеть*;
 - в) установить ракель кромкой параллельно поверхности рабочего стола в верхнем положении;
 - г) установить рамку трафарета и проверить её фиксацию и регулировку положения трафарета относительно поверхности рабочего стола в верхнем положении.
2. Закрепить подложку на столике.
 3. Установить столик в рабочее положение.
 - 4 Установить с помощью винтов на трафарете необходимый зазор между подложкой и сеткой трафарета.
 5. Нанести на ракель узкой полосой соответствующую пасту.
 6. Включить тумблер *Сеть*, нажав на кнопку *Пуск*, и произвести нанесение пасты.
 7. Выдвинуть столик, снять подложку.
 8. После окончания работы установка должна быть выключена, а кабель питания отключён от сети.
 9. Очистить ракель и трафарет от остатков пасты проточной водой и высушить.

Содержание отчёта

- 1) Цель работы.
- 2) Схема технологического процесса изготовления голстоплёночных ГИМС.
- 3) Топология слоя трафарета.
- 4) Конфигурация слоя пасты, нанесённого на поверхность подложки в зависимости от факторов, указанных в п. А.
- 5) Таблицы результатов анализа.
- 6) Выводы.

Контрольные вопросы

1. Поясните технологический процесс изготовления толстоплёночных ИМС. Каковы преимущества и недостатки толстоплёночной технологии ?

2. Из каких компонентов составляют проводящие, резистивные, диэлектрические пасты и каково их назначение; каковы температурные характеристики ? Какова последовательность нанесения паст в производстве ИМС ?

3. Какие подложки применяют в толстоплёночной технологии и каковы требования к ним ? Можно ли применять подложки из стекла и ситалла ?

4. Как влияют на формирование рисунка наносимого слоя пасты на поверхности подложки текучесть пасты, давление ракеля, зазор между ракелем и трафаретом, зазор между трафаретом и подложкой, а также угол наклона ракеля к поверхности подложки ?

5. Какова роль усадки паст после трафаретной печати ? Каково назначение термообработки паст ? Поясните температурный график и роль каждого этапа термообработки пасты.

6. Поясните технику изготовления трафаретов. Почему рабочая часть трафарета в 4 раза меньше общей его площади ?

7. Объясните основные этапы нанесения паст (типичные технологические процессы).

8. Объясните основные этапы термообработки паст (типичные технологические процессы).

Библиографический список.

1. *Черняев В.П.* Технология производства интегральных микросхем и микропроцессоров. - М.: Радио и связь, 1987 - 464 с.
2. *Парфёнов О.Д.* Технология микросхем. - М.: Высшая школа, 1986. - 320 с.
3. *Красов В.Г., Петрускас Г.Б., Чернозубов Ю.С.* Толстоплёночная технология в СВЧ микроэлектронике. - М.: Радио и связь, 1985 - 168 с.
4. *Коледов Л.А.* Технология и конструкции микросхем, микропроцессоров и микросборок. М.: Радио и связь, 1989. 400 с.

Учебное издание

**ИЗУЧЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА
ИЗГОТОВЛЕНИЯ ТОЛСТОПЛЕНОЧНЫХ ГИБРИДНЫХ
ИНТЕГРАЛЬНЫХ МИКРОСХЕМ**

*Методические указания к лабораторной работе
по курсу "Технологические процессы микроэлектроники"*

Составители: *Дмитриев Василий Дмитриевич
Пиганов Михаил Николаевич
Меркулов Анатолий Игнатьевич*

Редактор Н. С. К у п р и я н о в а

Подписано в печать 20.09.02. Формат 60x84 1/16.

Бумага офсетная. Печать офсетная.

Усл.печ.л.0,93. Усл.кр.- отг. 0,98. Уч. – изд.л. 1,0.

Тираж 150 экз. Заказ 65 Арт.С-15(01)/2002.

Самарский государственный аэрокосмический университет
имени академика С.П. Королева.
443086 г.Самара, Московское шоссе, 34.

РИО Самарского государственного аэрокосмического
университета. 443001 г.Самара, ул.Молодогвардейская, 151.