

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО
СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ РСФСР

КУЙБЫШЕВСКИЙ ордена ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
АВИАЦИОННЫЙ ИНСТИТУТ имени АКАДЕМИКА С. П. КОРОЛЕВА

ИЗУЧЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ТОЛСТОПЛЕНОЧНЫХ ИНТЕГРАЛЬНЫХ МИКРОСХЕМ

Утверждено
редакционно-издательским
советом института
в качестве
методических указаний
к лабораторной работе 40
для студентов

УДК 539.2

В методических указаниях рассмотрены методы формирования рисунка толстых пленок, материалы для толстопленочных микросхем. Дано описание оборудования для получения толстых пленок, приведен порядок выполнения работы.

Методические указания предназначены для студентов специальности 0705.

Составители: В. Д. Дмитриев, М. Н. Пиганов,
Т. С. Калугина

Рецензент Н. С. Кариков

Цель работы — изучение технологии изготовления пассивных элементов гибридных интегральных микросхем (ГИМС).

Задание:

1. Изучить установку ПТП-1 (полуавтомат трафаретной печати) и принцип ее работы.
2. Изучить состав наносимых паст.
3. Ознакомиться с методами изготовления трафаретов.
4. Изучить технологический процесс нанесения паст через трафарет.
5. Ознакомиться с технологическим процессом вжигания паст.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ РАБОТЫ

Толстопленочными интегральными микросхемами называют такие микросхемы, в которых резисторы, конденсаторы, контактные площадки и соединения между ними изготавливают путем последовательного нанесения на поверхность подложек различных по составу паст с последующим их вжиганием. Пассивные элементы формируются из «толстых» пленок толщиной более 1 мкм (обычно 10—25 мкм). В гибридных толстопленочных интегральных микросхемах применяют бескорпусные активные элементы и бескорпусные полупроводниковые интегральные микросхемы, которые монтируют на подложке, присоединяя их выводы к соответствующим контактным площадкам.

Технологический процесс изготовления толстопленочных интегральных микросхем (ИМС) более простой, чем тонкопленочных (рис. 1), так как в этом случае не требуется вакуум и сложное оборудование. Толстопленочные ИМС обладают высокой надежностью и могут быть рассчитаны на относительно большие мощности рассеяния. Основными недостатками толстопленочных ИМС являются необходимость выполнения операции вжигания, высокая стоимость некоторых паст, сложность получения четкого рисунка схемных элементов.

Изготовление толстопленочных ИМС начинают с подготовки поверхности подложек и трафаретов, затем на подложку наносят требуемый рисунок слоев. После каждого цикла нанесения соот-

ветствующего слоя следует процесс обжига (вжигания) для закрепления его на подложке и придания заданных свойств материалу слоя. Поскольку температура вжигания проводящих, резистивных и диэлектрических паст различна, последовательность

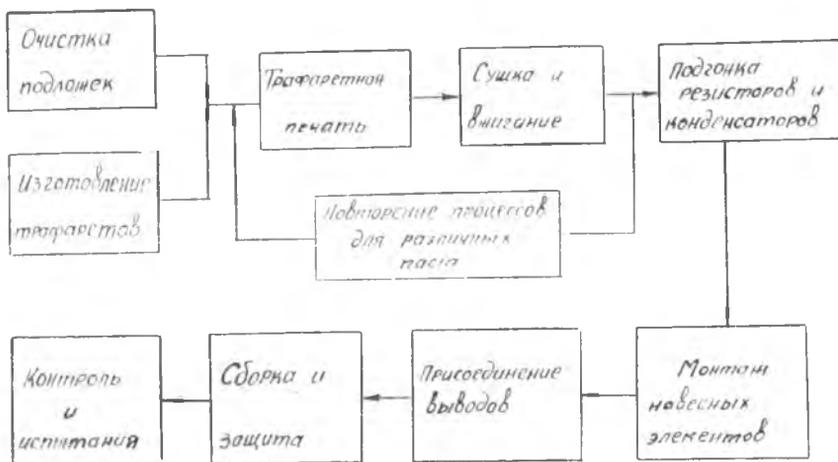


Рис. 1. Структурная схема технологического процесса изготовления гибридных толстопленочных ИМС

нанесения слоев должна быть вполне определенной. Сначала наносят слой с наибольшей температурой вжигания — проводящую пасту, образующую проводники, контактные площадки и нижние обкладки конденсаторов, а затем пасту для диэлектриков конденсаторов и изоляции возможных пересечений проводников. Третьим слоем наносят верхние обкладки конденсаторов и оставшуюся часть проводников. Наконец, наносят резистивные пасты, если температура их вжигания наименьшая. После изготовления пассивных элементов интегральной микросхемы производят лужение контактных площадок и подгонку элементов к номинальному значению электрофизических параметров. Монтаж и сборку толстопленочных ИМС производят так же, как и тонкопленочных.

МЕТОДЫ ФОРМИРОВАНИЯ ТОЛСТЫХ ПЛЕНОК

На современном этапе развития толстопленочной технологии наиболее широкое применение нашли два метода изготовления ИМС — трафаретной печати элементов и контактной печати.

Метод трафаретной печати. Метод состоит в продавливании пасты через отверстие трафарета на подложку, которая

удерживается с помощью вакуумного присоса. Толщина осаждаемого материала зависит от толщины применяемого трафарета и характера заполнения пустот. Отсюда и возник термин толстопленочная печать. На процесс печати влияют состав пасты, качество, конструкция и тип трафарета и ряд других факторов. Схема печати (нанесения пасты) показана на рис. 2. По мере про-

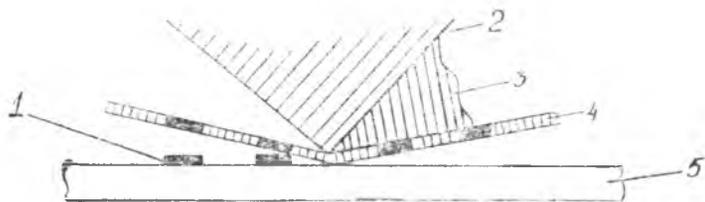


Рис. 2. Схема печати: 1 — паста на поверхности подложки; 2 — ракель; 3 — паста; 4 — трафарет с окнами; 5 — подложка

движения 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 отпечатанная через трафарет схема. 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 прилипания ракеля к трафарету. От сочетания указанных факторов зависит толщина печатных элементов, их четкость 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. Оптимальной считается скорость 12,7 мм/с при давлении ракеля 6,8 кПа и угле между рабочей плоскостью ракеля и трафаретом 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.

Можно выделить ряд факторов, связанных с самой подложкой и влияющих на качество пленок, например, чистота поверхности подложки. Так, глазурованная (остеклованная) или полированная поверхность имеет меньшую адгезию с толстыми пленками. Кроме того, пленочная глазурь может взаимодействовать с глазурью подложки, что приводит к ухудшению параметров и стабильности элементов схемы. Но слишком шероховатая поверхность непригодна вследствие неравномерности толщины наносимых пленок. Считается оптимальной чистота поверхности с шероховатостью 0,3 — 0,6 мкм.

Другими факторами, влияющими на качество пленок, являются плоскопараллельность и толщина подложки. Разброс толщины керамических подложек одной партии колеблется в пределах от 0 до 0,1 мм, что приводит к некоторой неравномерности по толщине пленок. Разброс по толщине в 0,025 мм считается допустимым для подложек одной партии.

Важную роль в получении хорошего отпечатка играют сам ракель и способ его закрепления. Материал ракеля не должен взаимодействовать с растворителями паст, так как это может привести к изменению консистенции пасты и деформации отпечатка. Рабочая кромка ракеля должна быть острой для того, чтобы плотно прилегать к поверхности трафарета. Чем меньше твердость материала ракеля, тем плотнее он прилегает к подложке и тем меньше срок его службы и больше вероятность деформации ракеля в процессе печати.

В настоящее время наиболее широко применяют полнуретановые ракели, поскольку они наименее реактивны и обладают большой износостойчивостью. В отдельных случаях применяют также неопреповые и уретановые ракели.

По способу закрепления ракеля различают два типа держателей — плавающий и фиксированный. Плавающий держатель позволяет автоматически выравнивать кромку ракеля относительно поверхности печати. Однако на его положение могут влиять изменения величины натяжения трафарета и другие факторы. Фиксированный тип держателя хорошо работает, если все элементы печатающего устройства (лезвия ракеля, трафарет, подложки, опора держателя, направляющие ракеля и т. д.) изготовлены с точностью $\pm 0,05$ мм. Этому требованию удовлетворяют современные устройства для трафаретной печати, имеющие возможность регулировать положение подложки по трем осям с вращением вокруг вертикальной оси и легкий доступ к трафарету и подложке.

В зависимости от свойств пасты и силы давления на ракель профиль нанесенного на подложку слоя может быть различным (рис. 3).

Паста должна обладать определенной величиной текучести,

чтобы под действием давлений, возникающих при трафаретной печати, просачивалась через ячейки, а затем твердела и не растекалась.



Рис. 3. Дефекты при изготовлении элементов методом трафаретной печати

Метод контактной печати, при котором подложка крепится непосредственно к фольговой маске, позволяет наносить более тонкие линии и элементы меньшей площади. Разброс параметров элементов при этом уменьшается. Но у масок есть и недостатки: засорение изображения, трудность очистки, хрупкость, высокая стоимость. Кроме того, маски имеют ограниченное применение в отношении конфигурации рисунка. В основном их используют для относительно простых рисунков тонких линий (до 0,1 мм).

МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ТОЛСТОПЛЕНОЧНЫХ МИКРОСХЕМ

Подложки. Особенностью толстопленочной технологии является наличие операции высокотемпературного вжигания пасты. Отсюда одно из важных требований к материалу подложки — выдерживать высокую температуру, часто более 1000°C. Это требование обуславливает необходимость применения керамики. Кроме этого, подложки должны обладать хорошими диэлектрическими свойствами, иметь хорошую адгезию с материалами пасты и обрабатываться при высоких температурах.

Керамика является одним из самых распространенных материалов. Широкое ее применение объясняется высокими механическими и электрическими свойствами, недефицитностью исходных материалов, сравнительной простотой технологии изготовления, невысокой стоимостью. Керамика негигроскопична, термостойка. Для подложек толстопленочных интегральных микросхем используются материалы Al_2O_3 , BeO (брокерит), боросиликатное стекло, кварцевое стекло и др. Перед нанесением пасты подложки проходят тщательную отмывку с последующей прокалкой в конвейерных печах при температуре 600—700°C.

Пасты. Представляют собой суспензии порошков наполнителя и стекла в какой-либо органической связующей жидкости или растворителе. Наполнитель является основой пасты и придает

пленкам 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 окисляющей 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.

Таблица 1

Свойства проводящих паст

Характеристика	Наполнитель					
	Ag	Pt — Au	Pd — Au	Pt—Pd— Au	Au	Pd — Ag
Удельное поверхностное сопротивление, Ом/□	0,005	0,5—0,12	0,005— 0,1	0,08— 0,1	0,003— 0,01	0,04
Температура обжига, °C	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—придий, платина—оксид иридия и др. Толсто пленочные резисторы имеют номиналы сопротивлений от 1 до 10^7 Ом, удельное сопротивление от 1 до 10^7 Ом/□ (табл. 2). Толщина резистивного слоя составляет 10—25 мкм.

Таблица 2

Параметры некоторых резистивных слоев

Параметры	Металлическая основа состава пасты		
	Pd — 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 ферроэлектрических (сегнетоэлектрических) материалов. Пасты для диэлектрического слоя конденсаторов подбирают с таким расчетом, чтобы образованные слои имели высокую диэлектрическую проницаемость и напряжения пробоя при незначительном значении $\text{tg}\delta$.

Например, пасты на основе композиции титанат бария—оксид титана—оксид алюминия—легкоплавкое стекло имеют диэлектрическую проницаемость от 10 до 2000. Диэлектрические слои должны выдерживать напряжение 100 В и более при незначительных потерях. 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 обжига диэлектрика. Уменьшение количества проколов обычно достигается двойным печатанием диэлектрической пасты. Трещины могут появляться при несогласовании коэффициентов теплового расширения материалов пленки и подложки.

Воспроизводимость номинала 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.

ИЗГОТОВЛЕНИЕ ТРАФАРЕТОВ

Трафареты, применяемые в толсто пленочной технологии, можно подразделить на три подгруппы: с эмульсионными покрытиями элементных участков, с металлическим покрытием и сплошные металлические маски для контактной печати.

Трафареты первых двух групп изготавливают на шелковой, нейлоновой или металлической сетке. Для изготовления трафаретов первой группы на сетку наносят фотоэмульсионный слой, с помощью которого создают открытые и закрытые участки. Процесс изготовления трафарета включает следующие операции: натяжение и закрепление материала на раме, экспонирование через фотошаблон под источником ультрафиолетового излучения, проявление изображения в этиловом спирте, термообработку при температуре 60—70°C в течение 20—30 мин.

ПРОЦЕССЫ СУШКИ И ВЖИГАНИЯ

После нанесения пасты на керамическую подложку требуется некоторое время для ее «усадки». При нанесении пасты через сет-

чатую маску по краям наносимых фигур часто остаются следы сетки. Если дать такому напечатанному рисунку выстояться, обычно 5—15 мин, то из-за растекания рисунок станет более однородным по толщине. После этой процедуры пленки сушат в печах при 100—150°C под действием инфракрасных лучей. Процесс сушки проводят для удаления летучих компонентов паст. Время сушки зависит от типа пасты и составляет 5—15 мин.

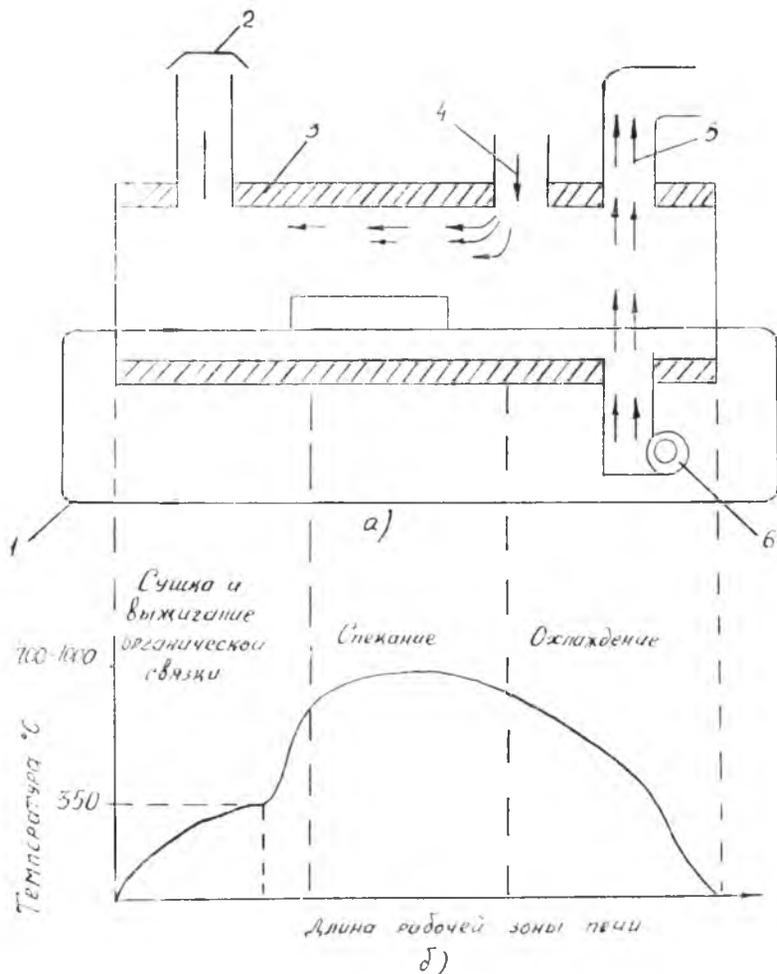


Рис. 4. Схема конвейерной печи термообработки паст (а) и график распределения температуры вдоль печи (б): 1 — конвейерная лента; 2 — вентиляционная система; 3 — кварцевый муфель печи (рабочие зоны); 4 — продувка сухим воздухом; 5 — воздушная завеса; 6 — вентилятор

После сушки пленок приступают к их вжиганию в конвейерных печах. Температура вжигания зависит от типа пасты. Процесс вжигания паст проводится в два этапа. На первом этапе при температуре 300—350°C происходит выжигание из пасты органической связки. Этот процесс проводят при медленном подъеме температуры, чтобы в пленках не возникли сквозные отверстия, что особенно нежелательно для диэлектрических паст из-за возможности закорачиваний по этим дефектам. Второй этап — спекание паст проводится при существенно более высоких температурах 700—1000°C (в зависимости от типа паст) и более критичен к колебаниям температуры не только вдоль печи, но и в поперечном сечении. Второй этап наиболее ответственен, так как происходящие при спекании химические реакции между компонентами пасты, пастой и подложкой, пастой и средой внутри муфеля печи, между компонентами разных паст определяют основные электрофизические свойства толстопленочных элементов. Для каждого материала (пасты) нужен свой режим вжигания. Желательно, чтобы последней стадией любого процесса вжигания было вжигание резистивной пасты. Схема конвейерной печи и примерный температурный режим приведены на рис. 4.

В промышленности для вжигания паст широко используется электропечь СК-10/16, 6—5 (рис. 5). Ее можно использовать для вжигания резистивных, диэлектрических и проводящих паст в керамические подложки. Температурный режим печи может изменяться от 200 до 1000°C, печь имеет пять температурных зон. Размеры рабочего пространства 2610 × 160 × 60 мм. Скорость конвейера может регулироваться в пределах 15—150 мм/мин.

УСТАНОВКИ ДЛЯ ТРАФАРЕТНОЙ ПЕЧАТИ

Для трафаретной печати используют устройства, которые состоят из следующих основных узлов: подачи пасты, перемещения ракеля, крепления подложки и трафарета, рабочего столика с системой микрометрических винтов, вакуумной системы, пульта управления.

Наиболее широко применяют следующие установки. Установка трафаретной печати ГГ-2323 предназначена для серийного производства толстопленочных ИМС. Скорость движения ракеля 50—150 мм/с. Зазор между трафаретом и рабочей плоскостью подложки регулируется в пределах 0...1 мм. Установка трафаретной печати ГГ-2534. Скорость движения ракеля 10—100 мм/с. Полуавтоматическая установка трафаретной печати ПТП-2. Режим работы — ручной или полуавтоматический.

ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ ПТП-1

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

Технические характеристики

Размеры подложки, мм	Не более 60×84
Максимальное перемещение стола по осям «X» и «Y», мм	10
Угол поворота стола, град	± 7,5
Рабочий ход, мм	70
Скорость ракеля, мм/с	10—80
Давление ракеля, кгс/см ²	146
Питание	220 В
Габариты, мм	815 × 340 × 360
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 передается от электродвигателя постоянного тока посредством ременной передачи. С ходовым винтом связана гайка 6 со скобой 5, по направляющим которой перемещается водило с ремнем. 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 электрического двигателя в конце рабочего хода и его остановки в исходном положении ракеля. Доступ к микропереключателям, а также к клеммам электродвигателя и ременной передаче обеспечивается путем снятия кожуха 12. На верхней плите корпуса установлена направляющая 11, по которой перемещается узел стола 2, имеющий микровинты 1 с корпусом для регулировки положения по осям «X» и «Y» и винты 10 углового перемещения. Стол в рабочем состоянии фиксируется подпружиненным клином. На боковых стенках над верхней плитой 9 закреплена панель, на которой устанавливается рамка с трафаретом 3.

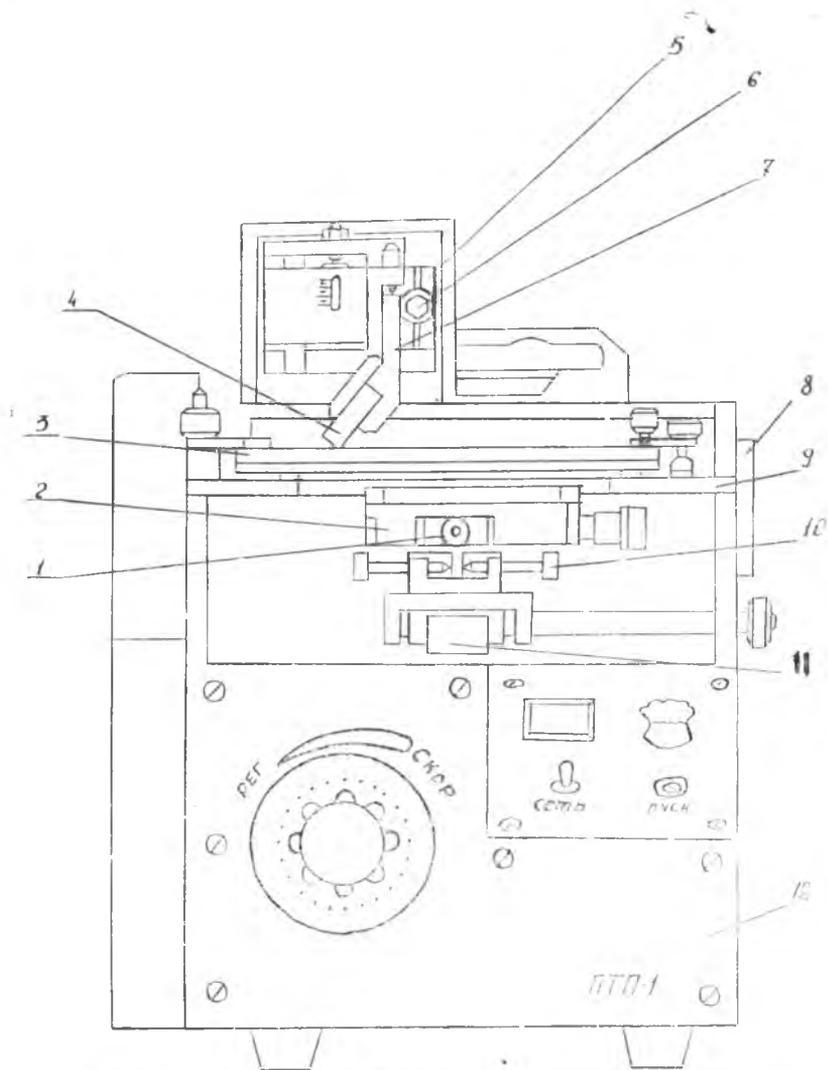


Рис. 5. Общий вид полуавтомата трафаретной печати

На лицевой панели установлены органы управления: тумблер «Сеть» — включение питания устройства; кнопки «Пуск» — включение эл. двигателя; «Регулятор скорости» — регулировка скорости перемещения ракеля.

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 $h_1 = h_2 =$ мм);

зазора d между трафаретом и поверхностью подложки при оптимальном значении h (два значения $d_1 =$ мм, $d_2 =$ мм);

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

Отклонение размеров и конфигурацию нанесенного 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 ее 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», нажать на кнопку «Пуск» и произвести нанесение пасты.

7. Выдвинуть стол, снять подложку.

8. После окончания работы установка должна быть выключена, а кабель питания отключен от сети.

9. Очистить ракель и трафарет от остатков пасты проточной водой и высушить.

СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

1. Цель работы.

2. Схема технологического процесса изготовления толсто пленочных ИМС.

3. Топология слоя (трафарета).

4. Конфигурация слоя пасты, нанесенного на поверхность подложки в зависимости от факторов, указанных в п. А.

5. Таблицы результатов анализа.

6. Выводы.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Поясните технологический процесс изготовления толстопленочных ИМС. Каковы преимущества и недостатки толстопленочной технологии?

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

3. Какие подложки применяют в толстопленочной технологии и каковы требования к их поверхности? 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?

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Черняев В. Н. Технология производства интегральных микросхем. — М.: Энергия, 1977. — 376 с.

2. Ермолаев Ю. П., Пономарев М. Ф., Крюков Ю. Г. Конструкция и технология микросхем. — М.: Сов. радио, 1980. — 256 с.

*Составители: Василий Дмитриевич Дмитриев,
Михаил Николаевич Пиганов,
Татьяна Серафимовна Калугина*

ИЗУЧЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ
ТОЛСТОПЛЕНОЧНЫХ ИНТЕГРАЛЬНЫХ МИКРОСХЕМ

Редактор Е. Д. Антонова
Техн. редактор Н. М. Каленюк
Корректор Н. С. Куприянова

Сдано в набор 19.01.88 г. Подписано в печать 25.02.88 г.
Формат 60×84 1/16. Литературная гарнитура.
Печать высокая. Бумага оберточная.
Уч.-изд.л. 0,9. Усл.п.л. 0,93. Т. 300 экз. Заказ 292.
Бесплатно.

Куйбышевский ордена Трудового Красного Знамени
авиационный институт имени академика С. П. Королёва,
г. Куйбышев, ул. Молодогвардейская, 151.

Тип. ЭОЗ КуАИ, г. Куйбышев, ул. Ульяновская, 18.