

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ И ПОДЛОЖЕК МИКРОСБОРОК ПРИМЕНИТЕЛЬНО К КОНЦЕПЦИИ ЕДИНОЙ АВТОМАТИЧЕСКОЙ ЛИНИИ

Одно из основных требований, предъявляемых к технологическим процессам (ТП) в производстве печатных плат (ПП) и интегральных микросхем (ИМС) – получение заданного процента выхода годных изделий, определяемого, прежде всего, высокой точностью проведения данного процесса с экономически приемлемыми показателями. Выполнение этого требования затрудняется сложностью технологии, обусловленной большим числом параметров, которые необходимо обеспечить с высокой точностью, а также большим числом взаимосвязей между физическими характеристиками изделий и технологическими факторами производства.

Поэтому для анализа ТП в процессе создания той или иной структуры изделия необходимо осуществить взаимосвязь технологических параметров, составить модель установившегося во времени ТП (статическое моделирование) или неустойчившегося, например при переходе от одного режима к другому (динамическое моделирование).

Полная математическая модель ТП включает характеристики основных технологических факторов процесса, связи между этими факторами, ограничения на процесс, критерии оптимизации, функции оптимизации связей между основными технологическими факторами в динамике.

Технологические процессы изготовления радиоэлектронной аппаратуры и, в частности, ПП обычно настолько сложны, что исходя из наибольшей целесообразности, они изучаются с помощью экспериментально-статистических методов, позволяющих выявить наиболее существенные технологические факторы, определить характер их влияния на качество изделия и построить модель исследуемого процесса.

Одним из методов математической статистики для исследования технологических процессов является дисперсионный анализ.

Дисперсионный анализ состоит в оценке отношения дисперсии S_{ϕ}^2 , связанной с действием исследуемых факторов (или фактора), к дисперсии S_{γ}^2 , обусловленной техникой эксперимента. Обе дисперсии определяются следующими выражениями:

$$S_{\phi}^2 = \frac{n \sum_{i=1}^l (\bar{x}_i - \bar{x})^2}{l-1}; \quad (1)$$

$$S_{\gamma}^2 = \frac{\sum_{i=1}^l \left[\sum_{j=1}^n (x_{ij} - \bar{x}_i)^2 \right]}{N-l}, \quad (2)$$

где n – число наблюдений; l – число уровней фактора; \bar{x}_i – частная средняя; \bar{x} – общая средняя; $l-1$ – число степеней свободы дисперсии S_{ϕ}^2 ; $N = ln$ – общее число результатов наблюдений; $N-l$ – число степеней свободы дисперсии S_{γ}^2 .

$$\bar{x}_i = \frac{\sum_{j=1}^n x_{ij}}{n}, \quad (3)$$

$$x = \frac{\sum_{i=1}^l \sum_{j=1}^n x_{ij}}{ln} \quad (4)$$

Подставив (3) и (4) в (1) и (2), получим:

$$S_{\phi}^2 = \frac{n \sum_{i=1}^l \left(\frac{\sum_{j=1}^n x_{ij}}{n} - \frac{\sum_{i=1}^l \sum_{j=1}^n x_{ij}}{ln} \right)^2}{l-1}; \quad (5)$$

$$S_{\sigma}^2 = \frac{\sum_{i=1}^l \left[\sum_{j=1}^n \left(x_{ij} - \frac{\sum_{j=1}^n x_{ij}}{n} \right)^2 \right]}{N-l} \quad (6)$$

Сравнение S_{ϕ}^2 и S_{σ}^2 производится с помощью критерия Фишера (F – критерия):

$$F_{расч} = \frac{S_{\phi}^2}{S_{\sigma}^2} \quad (7)$$

Полученное значение $F_{расч}$ сопоставляется с теоретическим (табличным) $F_{табл}$. Если $F_{расч} \geq F_{табл}$, можно сделать вывод, что изучаемый технологический фактор влияет на качество изделия.

Для многофакторного процесса дисперсионный анализ позволяет оценить дисперсии, вызванные каждым фактором в отдельности, и выявить технологические факторы, оказывающие влияние на выходные параметры изделия. Однако степень и характер этого влияния могут быть определены только с помощью корреляционно-регрессионного анализа.

Очень часто при изучении сложных технологических процессов из-за воздействия случайных факторов трудно или невозможно расшифровать механизм тех или иных явлений, происходящих при изготовлении изделия. В этом случае функциональная зависимость

$$Y = f(X_1, X_2, \dots, X_n) \quad (8)$$

превращается в корреляционную, а полином

$$y = b_0 + \sum_{i=1}^k b_i x_i + \sum_{i \neq j} b_{ij} x_i x_j + \sum_{i=1}^k b_{ii} x_i^2 + \dots, \quad (9)$$

связывающий выходной и входные параметры процесса, – в уравнение регрессии.

Коэффициенты полинома $b_i, b_{ij}, b_{ii}, \dots$ – коэффициенты ряда Тейлора, т. е. значения частных производных в точке, вокруг которой производится разложение неизвестной функции:

$$b_i = \frac{df}{dx_i}; \quad b_{ij} = \frac{d^2 f}{dx_i dx_j}; \quad b_{ii} = \frac{d^2 f}{dx_i^2} \quad (10)$$

При исследовании технологических процессов достаточно ограничиться линейной аппроксимацией функции (14):

$$y = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + \dots + b_n x_n \quad (11)$$

В этом случае коэффициенты регрессии оценивают по результатам двух экспериментов в окрестности исходной точки, причем приращение функции Δy , соответствующее приращению Δx_i , принимают пропорциональным значению частной производной, т. е.

$$\frac{dy}{dx_i} \approx \frac{\Delta y}{\Delta x_i} = b_i. \quad (12)$$

Регрессионный анализ применим лишь при условии, если независимые переменные можно

считать неслучайными величинами.

Нахождение же связи между случайными величинами – задача корреляционного анализа. В этом случае устанавливается не только форма корреляционной связи (по виду уравнения регрессии), но и степень её, которая оценивается корреляционным соотношением

$$\theta = \sqrt{1 - \eta} \quad (13)$$

при

$$\eta = \frac{(n-t) \cdot S_y^2}{(n-1) \cdot S_x^2}, \quad (14)$$

где θ – показатель степени корреляционной связи; t – число коэффициентов в уравнении регрессии.

Из (13) и (14) видно, что чем меньше доля дисперсии S_y^2 в общей дисперсии S_x^2 , тем больше θ , т.е. сильнее связь между Y и X_i . При $\theta=1$ можно говорить о функциональной зависимости между параметрами.

Хорошо известно, что оценка влияния какого-либо фактора на выходной параметр тем точнее при ошибке эксперимента, чем больше исследуемая область.

Таким образом, с ростом числа одновременно исследуемых факторов растет радиус исследуемой области и повышается точность оценки влияния каждого из факторов на выходной параметр, а следовательно, возрастает эффективность многофакторного эксперимента.

Математическое описание или построение модели – основной этап оптимизации технологического процесса. Однако, чтобы иметь возможность вести процесс при наиболее благоприятных режимах, кроме математического моделирования, необходимо продолжать исследование технологического процесса и в производственных условиях.

Основные методы изготовления печатных плат и подложек подразделяются на два класса: 1) субтрактивный метод, основанный на травлении фольгированных диэлектриков; 2) аддитивный метод, основанный на применении нефольгированных материалов.

Субтрактивный метод в настоящее время самый распространенный и лучше освоен технологически. Несмотря на то, что многие из стадий субтрактивного метода требуют специальных технологий,

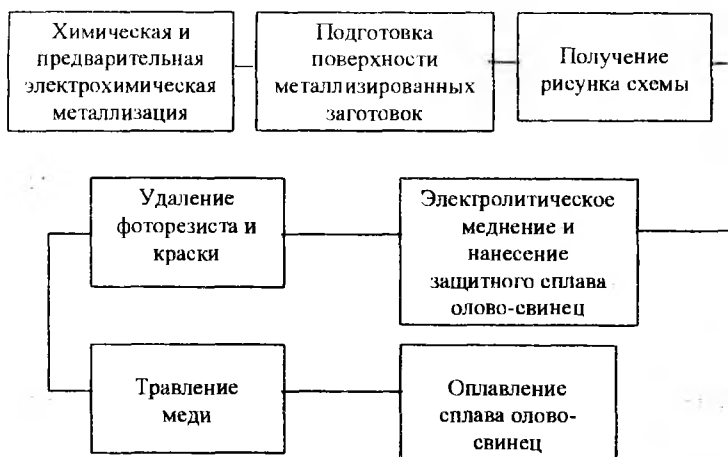


Рис. 1

химические процессы и поток материалов во многих установках уже сегодня таковы, что было бы возможным осуществление процесса, при котором любая технологическая операция реализовалась бы в зависимости от другой. Общим правилом интеграции операций является признак – осуществление процесса по мокрому способу. На примере технологического процесса изготовления ПП позитивным комбинированным способом, приведенном на рис. 1, анализируем возможности сочленения различных технологических операций с точки зрения осуществления их на единой автоматической линии.

Нетрудно заметить, что технологические операции связанные с нанесением рисунка, расчлениают процесс на две части, которые никаким образом не могут быть реализованы совместно на одной линии. Этот разрыв является характерным для любой субтрактивной технологии. Кроме этого объективно обоснованного разрыва нет никаких серьезных оснований разбивать химические процессы на более мелкие технологии. Фрагмент технологической схемы изготовления ПП позитивным комбинированным методом приведен на рис. 2,3.

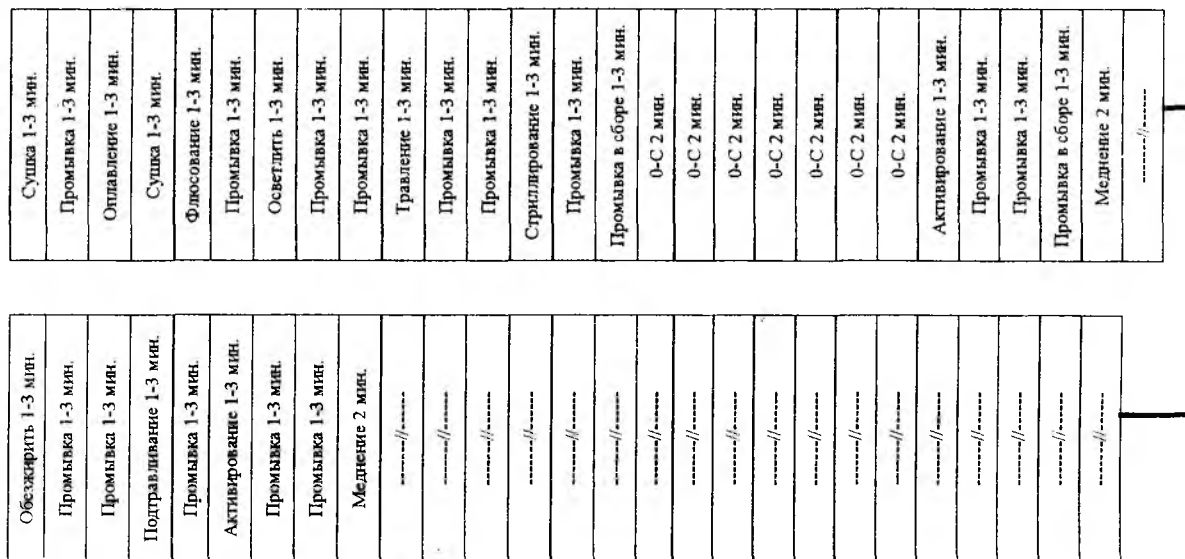


Рис. 2

Большинство технологических операций рассматриваемых техпроцессов протекает за 2-3 минуты, за исключением гальванического меднения и нанесения покрытия олово-свинец. Это вызывает принципиальные затруднения при компоновке автоматической линии. Если при времени выдержки 2 мин для реализации приведенных на рис. 2, 3 операций понадобится по одному модулю на каждую операцию, то для

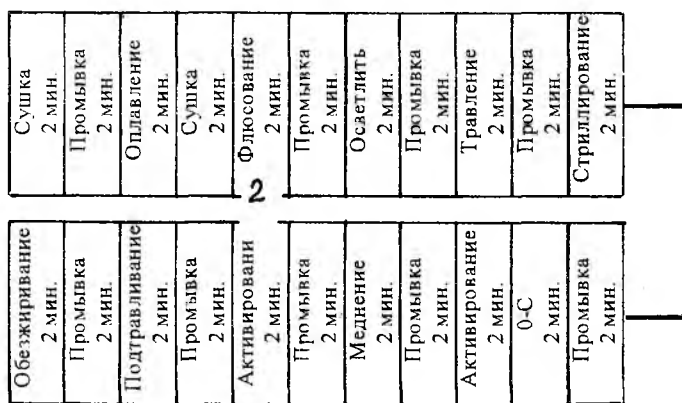


Рис. 3

осуществления гальванического меднения необходимо будет двадцать модулей, а для ПОСа – восемь. Такой путь ведет к резкому увеличению размеров линии. Отсюда следует очень важный вывод – для создания единой автоматической линии, для субтрактивных технологий, необходимо значительно интенсифицировать операции гальванического осаждения. То, что возможность такой интенсификации реальна, свидетельствует опыт многих зарубежных фирм. Возможность увеличения скорости, например гальванического меднения, в 10-20 раз сейчас не вызывает сомнения. Для этого: во-первых – необходимо создать

специальное технологическое оборудование с принудительной циркуляцией раствора, во-вторых – использовать специальные добавки к растворам электролитов [1].

Несмотря на то, что методы изготовления печатных плат, основанные на травлении фольгированного диэлектрика, вследствие высокого уровня их оснащённости, занимают доминирующее положение в массовом производстве, имеются серьезные тенденции исключить субтрактивный метод ввиду ряда его недостатков. Возможность для этого представляет аддитивный метод, приобретающий все большее значение. Впервые аддитивная технология была широко использована в Японии, когда фирма "Хитаси" купила у компании "Фотоцикус" США, лицензию на аддитивную технологию СС-4. В последнее время появился ряд модификаций этой технологии, например метод АР-П, отличающийся использованием обычных нефольгированных материалов с адгезионным слоем (в отличие сенси-

лизированных фотополимеров в СС-4); полуаддитивная технология Т-1; фотоаддитивная технология Т-2, включающая фотоселективную активацию, технология AP-11, отличающаяся проведением оцесса активирования и др. В Японии по этим технологиям изготавливается более 30 % плат.

В последнее время возрос интерес к аддитивной технологии и Западной Европе. На международной конференции в Нью Ульме, посвященной перспективам развития аддитивной технологии от-чалось, что в ФРГ изготовление печатных плат аддитивным методом составляет около 50 %.

Основной причиной такого роста является сужение ширины проводников, увеличение плотности нтажа и возможность миниатюризации печатных плат за счет использования аддитивных методов.

По данным фирмы IBM, приведенным в журнале «Kupkuists manuф», использование СС-4 обес-чивает получение проводников шириной 30-40 мкм, высокую адгезию /выше чем у фольгирован-их диэлектриков/. Равномерность толщины металлизации в отверстиях малого диаметра с соотно-нием высоты к диаметру 15:1.

В целом преимущества аддитивной технологии могут быть сведены к следующему:

- более высокая надежность, так как проводники и металлизация отверстий получены в еди-ном процессе;
- упрощение технологического процесса, нет гальваники, нет травления;
- экономическая эффективность: стоимость получаемых плат на 30 - 40 % ниже обычных.
- экологическая чистота и снижение затрат на нейтрализацию сточных вод;
- экономия материалов, в частности фольгированного диэлектрика, химикатов для травления;
- возможность автоматизации всего процесса.

На последнем пункте следует остановиться более подробно. На рис. 4 приведена схема химиче-ских операций изготовления печатных плат фотоаддитивным методом.

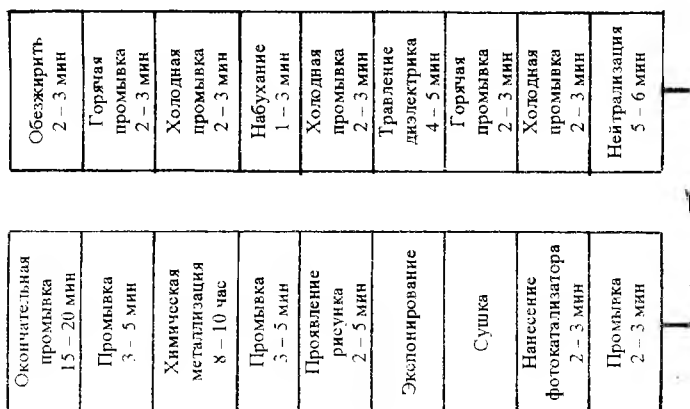


Рис. 4

ских операций изготовления печатных плат фотоаддитивным методом. Все приведенные операции выполняются мокрыми методами и по этому признаку могут быть сведены в единый техпроцесс реализуемый в одной технологической линии.

При получении рисунка единственной сухой операцией является со-вмещение и экспонирование.

Отсутствие применения фоторе-зистов позволяет выполнение и этих операций включить в единую автома-тическую линию.

Длительность протекания всех обработок кратна 2-3 мин, что позво-

ляет каждую операцию выполнять в одной, максимум в двух ячейках; это значительно сокращает длину линии и не требует интенсификации ни одного из используемых процессов, за исключением

химического меднения. Интенсификация процесса химического меднения является особой технологической про-блемой и здесь рассматриваться не бу-дет. Следует только отметить, что ре-шение этой проблемы, путем использо-вания перемешивания, не может быть достигнуто. Однако длительность опе-рации химического меднения - до 10 час., не является принципиальным за-труднением для реализации концепции единой автоматической линии [2]. Про-блема успешно может быть решена конструктивно. Например, использова-нием вращающейся карусельной уста-новки химического меднения удастся реализовать весь процесс без сколь-

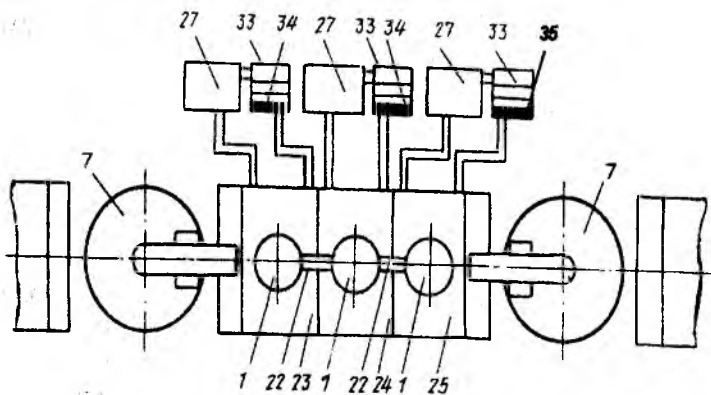


Рис. 5

либо значительного увеличения размеров линии.

В линиях может быть предусмотрено использование установки регенерации травильных растворов и установка электрохимической регенерации раствора химического меднения. Необходимость электрохимической регенерации обусловлена тем, что раствор химического меднения быстро истощается и требует частых корректировок по основным компонентам.

Основываясь на приведенных теоретических выкладках, разработаны конструктивные решения автоматической линии для металлизации плоских деталей [3].

Линия [3] относится к специальному технологическому оборудованию для нанесения покрытий, в частности, для химического и гальванического осаждения металлов на платы микросборок. На рис. 5 (вид сверху) изображена автоматическая линия для металлизации плоских деталей (подложек);

Автоматическая линия для металлизации плоских деталей (подложек микросборок) содержит ряд ванн 1 (с ловителями 2), расположенных по ходу технологического процесса, автооператоры 3, катодные штанги 4; кассеты 5; загрузочно-разгрузочные механизмы 6, включающие накопители 7, содержащие кольцевой конвейер 8, установленный на связанном с мотор-редуктором 9 через пару зубчатых колес 10 и 11 на вертикальном валу 12, концентрично которому расположены опорный диск с равномерно распределенными ложементами 13, имеющими штифты 14 для фиксации и центрирования кассет и ряд датчиков 15 для их идентификации; опорная поворотная стойка 16 манипулятора, несущая траверсу 17 с направляющими 18 продольного перемещения автооператора 3.

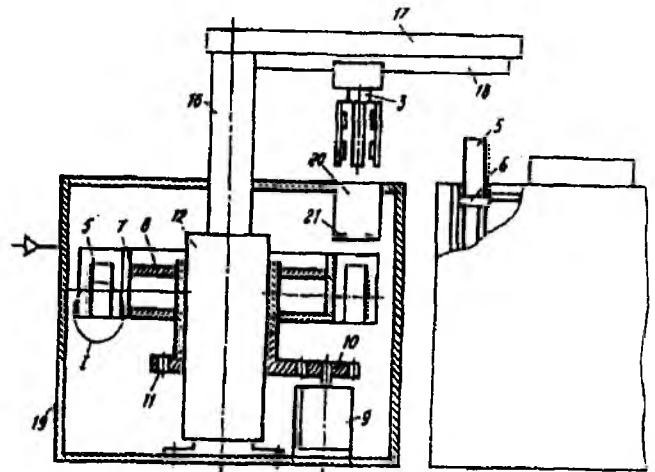


Рис. 6

Кольцевой конвейер 8 помещен в герметичный цилиндрический кожух 19, внутренний объем которого соединен с магистралью подачи инертного газа, а на верхней крышке которого имеется окно 20, содержащее шторки 21. Ванна 1 входит в состав каждого из трех, связанных между собой промежуточными транспортерами 22 технологических блока. Первый из блоков является блоком активации 23, второй — гальваническим блоком 24 и третий блоком отмывки и сушки 25, при этом первый 23 и последний 25 блоки снабжены механизмами 6 загрузки-разгрузки кассет 5. Гальванический технологический блок 24 содержит ловитель 2 в виде вакуумного патрона, концентрично которому расположена ванна 1. Слив 26 ванны соединен с системой рециркуляции электролита 27, а верхний обод 28 кинематически связан с рычажными токоподводами 29, установленными в каретки 30, помещенные в пазы катодной штанги 4, расположенной по сторонам коллектора 31, состоящего из связанных с системой рециркуляции 27 форсунок 32.

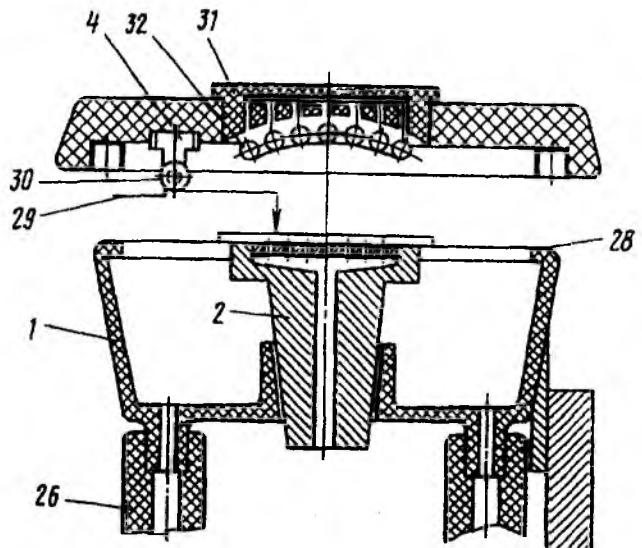


Рис. 7

Слив 26 каждой ванны 1 соединен с автономной системой рециркуляции электролита 27 через каскад фильтров 33, из которых первый 34 содержит в фильтровальных элементах активированный уголь 35:

Линия работает следующим образом. Вращение на кольцевой конвейер 8 с ложементами 13, в которых ус-

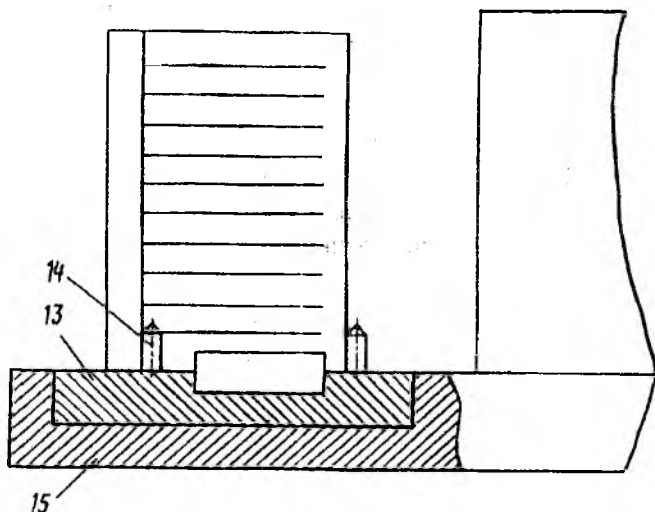


Рис. 8

тановлены кассеты 5, передается через вал 12 и пару зубчатых колес 10 и 11 от мотор-редуктора 9.

Адрес необходимой кассеты определяется датчиками 15, которые подают сигнал на отключение привода кольцевого конвейера 7, после чего необходимая кассета устанавливается под окном выгрузки 20. Автооператор 3, находящийся в своем исходном положении над окном 20, перемещаясь вертикально вниз, открывает шторы 21, захватывает пневматическими схватами кассету 5, извлекает ее из накопителя и, перемещаясь по направляющей 18 вдоль траверсы 17, которая устанавливается в нужном положении, вращаясь относительно оси опорной поворотной стойки 16, устанавливает кассету 5 на механизм загрузки-

разгрузки 6 последующего модуля. Механизм загрузки-разгрузки 6 подает из кассеты 5 подложку на ловитель 2, где она фиксируется путем создания под ней зоны разрежения. При подъеме ванны 1 обод 28 взаимодействует с рычажными токоподводами 29, прижимая их к поверхности подложки, тем самым обеспечивая токоподвод. Электролит с системы рециркуляции 27 поступает на коллектор 31, где распределяется по форсункам 32. Затем, поступая в ванну 1, электролит стекает через слив 26 и подается через каскад фильтров 33, первый из которых 34 содержит активированный уголь 35. в систему рециркуляции 27.

После обработки подложка подается промежуточными транспортерами 22 в зону механизма загрузки-разгрузки 6, где устанавливается в кассету 5. После полной загрузки кассеты 5, она захватывается автооператором 3, который подает и устанавливает ее между центрирующими и фиксирующими штифтами 14 свободного ложеента 13 кольцевого конвейера 8 накопителя 7, при этом кассета 5 идентифицируется датчиками 15 и заносится в память системы управления. В зону хранения кассет 5 в накопителе 7, ограниченную герметичным цилиндрическим кожухом 19 подается инертный газ, предохраняющий поверхность подложек от воздействия окружающей среды.

Такое конструктивное выполнение автоматической линии позволяет повысить компоновочную гибкость линии, а также улучшить качество обрабатываемых изделий.

Список литературы: 1. *Исследование процессов скоростной металлизации плат и путей ее реализации* // Радиотехника и информатика. 1999. № 4. С. 27-31 2. *Сундуков В.К. и др. Электрохимические и электрофизические методы обработки материалов.* Тула, 1986. С. 38-44. 3. *Лившиц Д.И., Дурник А.А., Юзвешин В.Ф., Третько О.В. Автоматическая линия для металлизации плоских деталей.* А.С. SU. 1507883. А1. ГК по делам ИиО СССР. 1989.

Харьковский государственный технический университет радиотехники

Поступила в редколлегию 17.01.00