

СИСТЕМА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ТЕХНОЛОГИИ НАПЫЛЕНИЯ
ПЛЕНОК

И.С. Лискер, В.А. Стерелюхин, Е.И. Черепов

Автоматизация процессов напыления пленок и пленочных элементов позволяет повысить эффективность разработки технологических режимов и осуществить массовое производство пленочных схем. Различают автоматизированные системы двух типов: циклического [1-3] и непрерывного [4-7] действия.

В циклических системах (наиболее распространенных в настоящее время) напыление производится за один цикл вакуумной откачки на подложки, предварительно загруженные в напылительную камеру. После окончания цикла подложки выгружаются, производится необходимая промежуточная работа (чистка камеры, масок, смена испарителей или их загрузка испаряемым веществом и т.п.), затем загружается новая партия подложек и начинается следующий рабочий цикл.

В системах такого типа подложкодержатели и маскодержатели выполняются в виде дисков, в которых по окружности укрепляются подложки и маски. Напыление производится в тот момент, когда подложка, нагретая до необходимой температуры, совмещена с заданной маской и установлена в позицию для напыления. Возможен вариант, когда в одном диске маски и подложки укрепляются, а испарители перемещаются.

В автоматизированных системах непрерывного действия подложки подаются через калиброванные отверстия в камеру предварительного вакуума, а затем в камеру для напыления. Возможен вариант, когда подложки загружаются в шлюзовую камеру, которая после откачки соединяется с камерой для напыления. Такие си-

системы в основном применяются для промышленного и полупромышленного производства.

В данной работе приводится описание одного из возможных вариантов динамической системы напыления пленок [8]. Разработанная система автоматизированной технологии напыления пленок отличается от ранее известных [1 - 7] тем, что ее работа основана на использовании нового типа испарителя - закрытого термического испарителя дискретного действия [9, 10]. Она представляет собой совокупность устройств и приборов, позволяющих программировать технологический эксперимент до начала его проведения и автоматизировать процесс получения пленок. Блок-схема системы, представленная на рис. 1, состоит из следующих основных узлов: 1) блока программного управления технологическим исследованием, 2) устройств регулирования температур подложек и испарителя, 3) устройства регулирования перемещения масок и подложек, 4) устройства регулирования длительности открытия затвора, 5) датчиков параметров технологического процесса, 6) устройства преобразования информации, 7) коммутаторов каналов информации, 8) устройства регистрации информации, а также световой сигнализации номеров подложек, масок и технологического цикла.

Принципиальная электрическая схема блока программного управления представлена на рис. 2. Схема работает следующим образом.

При нажатии кнопки "Пуск автоматики" шаговый искатель ШИ-2 переходит с ламели 1 на ламель 2, вызывая срабатывание электромагнитного реле P_1 , которое одним контактом KP_1 запускает реле времени PB , другим - подает питание на катушку открытия затвора электромагнита ЗИДД. В это время зажигается сигнальная лампочка L_{10} .

По истечении времени выдержки, заданного положением переключателей P_1 и P_2 , срабатывает реле PB , один контакт которого снимает питание с электромагнита ЗИДД, другой обесточивает обмотку питания ШИ-2, вызывая тем самым переход ШИ-2 с ламели 2 на ламель 3; реле P_1 обесточивается, реле времени возвращается в исходное положение, гаснет сигнальная лампа L_{10} . Одновременно срабатывает реле P_2 , которое контактом KP_2 обесточивает обмотку ШИ-1. ШИ-1 переходит с ламели 1 на ламель 2, подключая к PB новую задающую цепочку выдержки време-

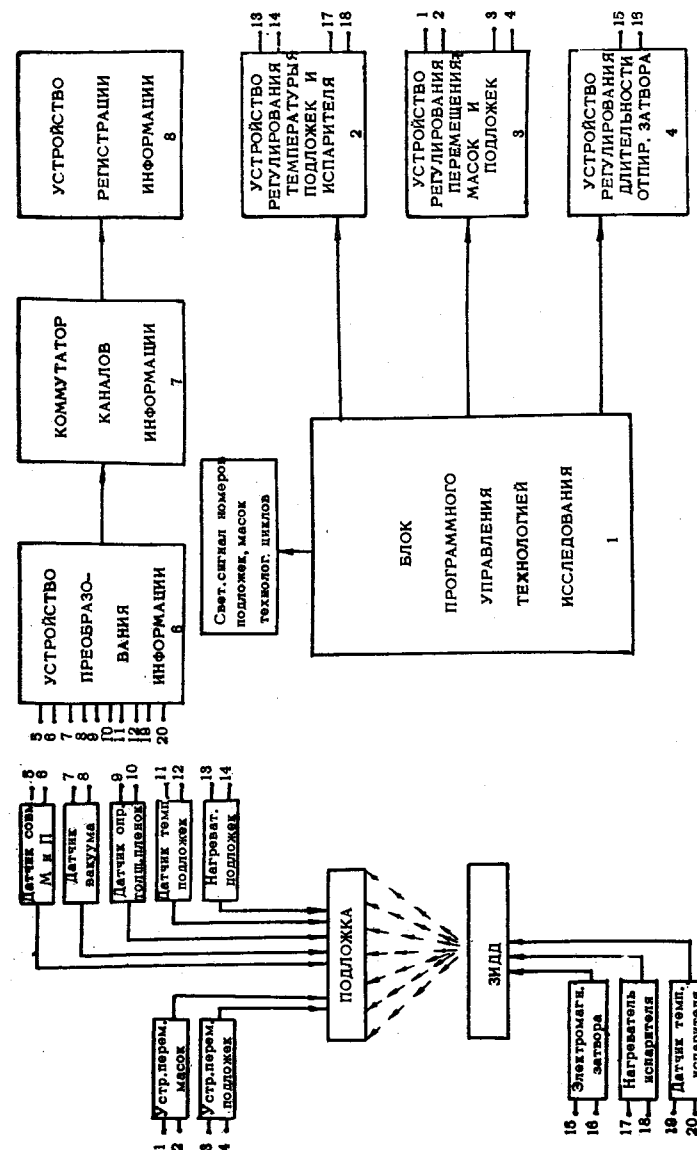
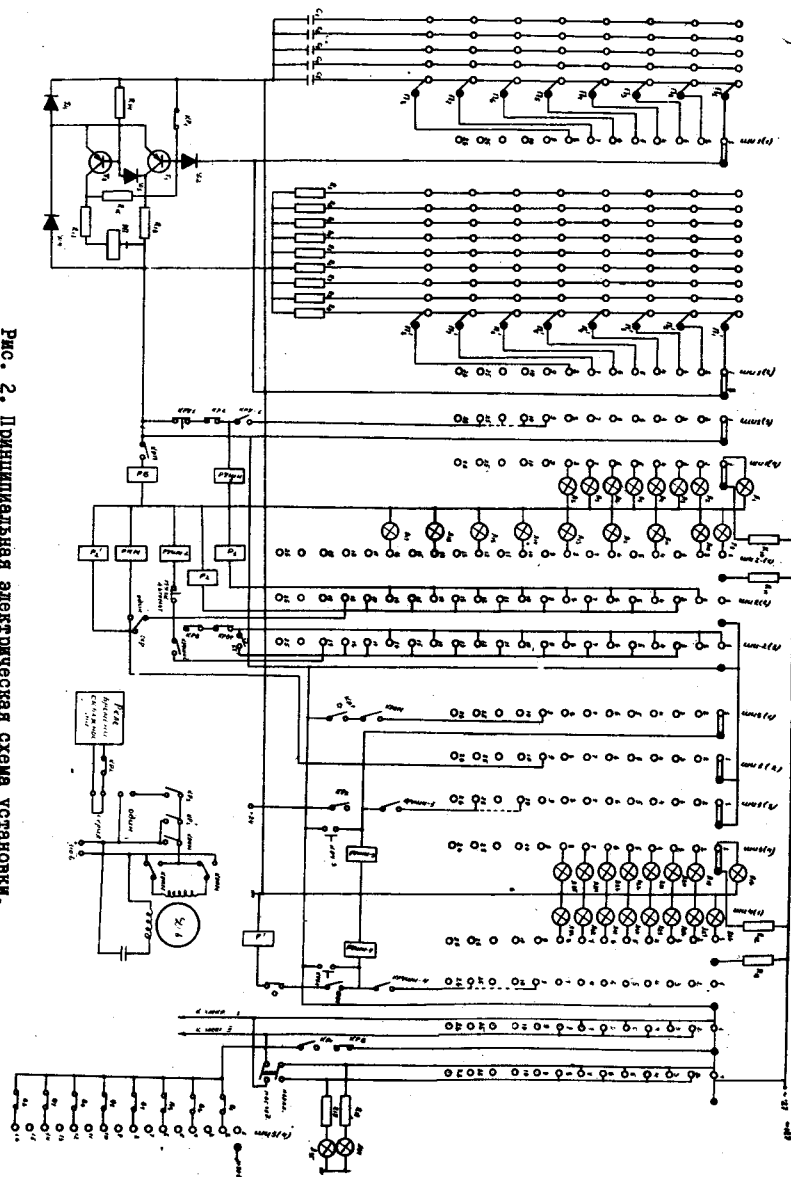


РИС. 1. БЛОК - СХЕМА СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ТЕХНОЛОГИИ НАПЫЛЕНИЯ ПЛЕНОК.

Рис. 2. Принципиальная электрическая схема установки.



ни. При этом загорается сигнальная лампочка L_2 , другим контактом реле P_2 замыкает цепь питания реверсивного электродвигателя, происходит смена маски (или подложки). При перемещении маски (или подложки) размыкается контакт совмещения маски с подложкой. Реле P обесточивается и своим нормально замкнутым контактом KP подает питание на обмотку ШИ-2 .

При совмещении маски с подложкой механический контакт вновь замыкается, в результате чего обмотка ШИ-2 обесточивается и ШИ-2 переходит на 4 ламель. При этом обесточивается реле P_2 , и двигатель останавливается. Одновременно срабатывает реле P_1 , зажигается сигнальная лампа L_{II} . Происходит напыление 2-й подложки или 1-ой подложки через вторую маску. Этот цикл продолжается до тех пор, пока не будут напылены все восемь подложек или сменены восемь масок. После этого ШИ-2 переходит с 16 на 17 ламель, при этом срабатывает реле P_2 , которое контактом KP_2 обесточивает обмотку ШИ-1 . В результате ШИ-1 переходит с 8 на 9 ламель и включенный через свой самопрерывающийся контакт ШИ-1-Г возвращается в исходное состояние. Другой контакт реле P_2 KP_2 включает электродвигатель, который производит смену маски или подложки. В результате опять устанавливается первая маска или подложка. При их совмещении ШИ-2 переходит на 18 ламель и вызывает срабатывание реле P_{PM} , которое меняет направление вращения двигателя и устанавливает вторую маску или подложку; одновременно P_{PM} подает питание на обмотку ШИ-4 .

При совмещении маски с подложкой ШИ-2 переходит с 18 на 19 ламель и включенный через свой самопрерывающийся контакт ШИ-2-Г возвращается в исходное положение. Реле P_{PM} обесточивается, двигатель останавливается, ШИ-4 переходит на 2 ламель. Загорается лампочка L_{27} , показывающая номер цикла. Схема готова ко второму циклу: к напылению 2 подложки через 8 масок или напылению на 8 подложек через вторую маску.

В случае напыления серий импульсов после первого импульса не происходит смены подложки или маски, реле P_2 включает реле времени скважности, которое через заданное время включает ШИ-2 . После 8 импульсов срабатывает реле P_2 , благодаря чему происходит смена подложки или маски. ШИ-3 в этом случае осуществляет счет подложек или масок. После смены восьми подложек или масок осуществляется смена масок или подложки. После этого весь цикл может быть повторен снова.

Устройство сбора и регистрации информации предназначено

для измерения и регистрации параметров, знание которых необходимо при проведении технологических исследований. Такими параметрами являются: давление в рабочей камере, температура ЗИДД, температура подложек, время открытия затвора ЗИДД (длительность импульса), время между предыдущим закрытием и последующим открытием затвора ЗИДД (скважность). Эти параметры периодически регистрируются на диаграммной ленте стандартного многоточечного потенциометра ЭПП-09. Измерение вакуума осуществляется стандартным прибором типа ВИТ-1А с датчиками ЛТ-2 и ЛМ-2. Выходные напряжения подаются на входы потенциометра ЭПП-09.

Измерение температуры ЗИДД осуществлялось при помощи высокотемпературных термопар. Если термоэдс термопары превышает допустимый уровень сигнала для записи, то навстречу термоэдс включается некоторое напряжение так, чтобы суммарная величина не превышала 10 мВ . Обе величины (суммарная и встречная) поступают на разные каналы потенциометра.

Температура подложек измеряется термопарами медь-константан, смонтированными в одну из подложек на каждой позиции. Все подложки на каждой позиции находятся в одинаковых термических условиях, поэтому температура измеряется в центре одной подложки. Далее, термопары через коммутатор термопар и вакуумный термопарный ввод выводятся на один из каналов ЭПП-09. Коммутатор термопар представляет собой керамический диск, в котором укреплены контакты: один общий круговой и точечные соответственно на каждую позицию подложкодержателя.

Одновременно с записью величин давления в вакуумной камере температуры подложек и ЗИДД на диаграммной ленте ЭПП-09 производится запись длительности открытия затвора (импульса пара) и времени между предыдущим закрытием и последующим открытием затвора ЗИДД (скважность между импульсами). Запись длительности импульса и скважности производится при помощи электромагнита (отметчика времени), смонтированного в ЭПП-09, который срабатывает одновременно с электромагнитом ЗИДД. При срабатывании электромагнита перо, прикрепленное к его якорю, отрывается от диаграммной ленты, а когда электромагнит выключен (соответствует скважности), перо вычерчивает прямую линию. Если задать максимальную скорость протяжки — 9600 мм/час , то можно различать время от $0,05\text{ сек}$ и выше с погрешностью не более 5% .

Блок-схема устройства автоматического регулирования тем-

пературы ЗИДД приведена на рис. 3. Для автоматического поддер-

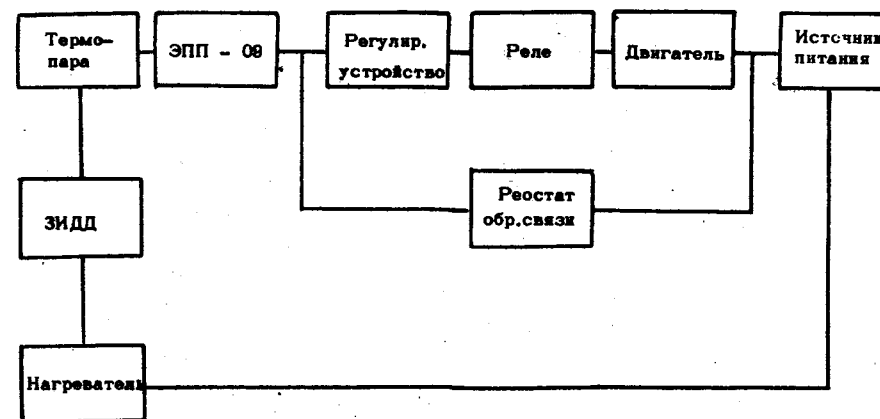


Рис. 3. Блок-схема устройства автоматического регулирования температуры испарителя.

хания заданной температуры ЗИДД применено стандартное регулирующее устройство РУ4-16А. Сигнал с термопары, измеряющей температуру ЗИДД, подается на ЭПП-09, при помощи которого измеряется истинное значение регулируемой температуры. При отклонении температуры от заданного значения перемещается движок вторичного датчика, который выполнен в виде реохорда и встроен в ЭПП-09. Тем самым создается напряжение разбаланса, которое поступает в суммирующую схему РУ4-16А. Усиленный сигнал вызывает срабатывание одного из реле, которое подает напряжение на реверсивный электродвигатель, производящий перемещение ползунка регулятора напряжения РНО-250 и ползунка реостата обратной связи до момента равенства напряжений разбаланса и обратной связи.

Для обеспечения наилучшего качества переходного процесса, возникающего при возмущениях, необходимо произвести настройку РУ4-16А. При определении настроек регулятора на данный объект регулирования необходимо знать динамические характеристики регулируемого объекта. Характеристики ЗИДД были сняты экспериментально: рассчитаны параметры регулирования, определена область устойчивой работы регулятора.

Регулирование температуры подложек производится регистрирующим прибором ЭП-09 с использованием обычной трехпозиционной схемы регулирования.

В системе автоматизированной технологии напыления пленок, которая описывается в данной работе, была использована вакуумная установка циклического типа, собранная на основе металлизационного аппарата РР/600. В ней был установлен восьмипозиционный механизм перемещения масок и подложек. Диски маскодержателей и подложкодержателей приводились в движение от одного привода. На каждой позиции можно было укрепить четыре маски и четыре подложки. Таким образом, за один вакуумный цикл можно было напылить 32 подложки по четыре через каждую маску. При введении дополнительной четырехпозиционной маски-экрана можно было произвести 256 различных напылений за один вакуумный цикл.

На рис. 4 представлена фотография общего вида системы ав-

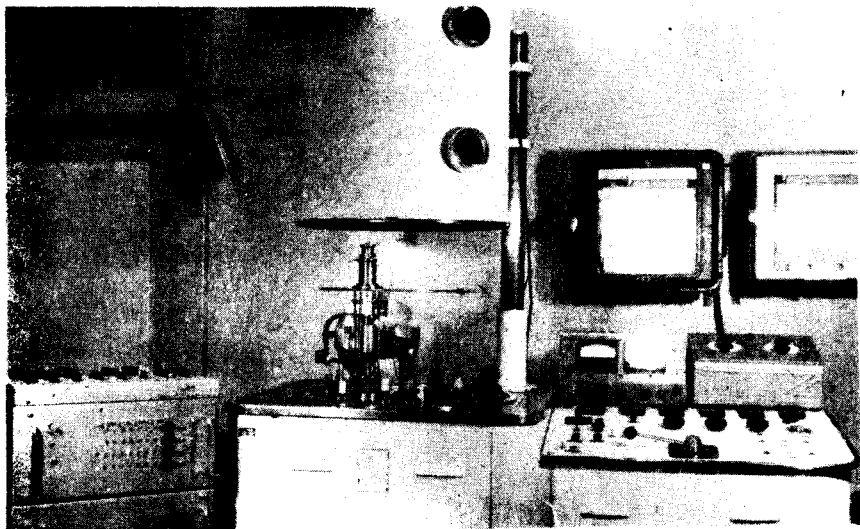


Рис. 4. Фотография общего вида установки.

томатизированного технологического исследования. В центре фотографии видна вакуумная установка, слева - блок управления, справа сверху - блок регистрации информации и регулирования температуры подложек.

На рис. 5 приведена фотография механизма перемещения ма-

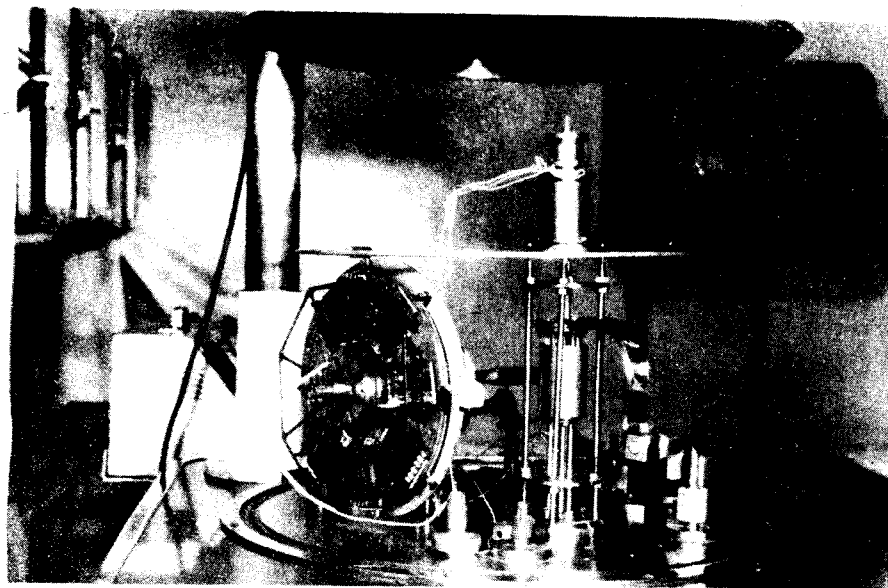


Рис. 5. Фотография механизма перемещения масок и подложек.

сок и подложек. Для наглядности у секционной печи подогрева подложек (на первом плане) верхние экраны сняты.

Система автоматизированной технологии напыления пленок с помощью закрытых термических испарителей дискретного действия выполняет следующие основные операции, программируемые до начала эксперимента: а) автоматическое прерывистое регулирование температур испарителей и подложек, б) автоматическую смену масок и подложек в определенном порядке, в) открытие и закрытие затвора испарителя, г) сигнализацию о ходе выполнения программы исследований, д) периодическую регистрацию технологических параметров.

В системе предусмотрена также возможность ручного выполнения указанных операций, например, в процессе ее настройки, проверки работы отдельных блоков и т.п. Выполнение основных технологических исследований производится по жестким программам, набираемым оператором перед началом эксперимента при помощи переключателей, расположенных на верхней и боковой панелях блока программного управления. В описанной установке возможны два варианта перемещения масок и подложек в зависимости от цели технологических исследований:

а) маска остается неподвижной во время всего цикла работы до тех пор, пока через нее не будет произведено заданное количество напылений (перемещаются подложки); после окончания цикла маска перемещается;

б) подложка неподвижна на время всего цикла, маски перемещаются.

Таким образом, в первом случае мы получаем возможность нанести один и тот же рисунок на различные подложки, а во втором — на одну подложку различные рисунки.

В связи с этим по своему назначению программы технологического исследования могут быть трех типов: последовательного, параллельного и смешанного (последовательно-параллельного).

Программа последовательного напыления может быть применена для одного ЗИДД при разработке технологического процесса получения пленок с заданными свойствами, а также для получения на подложках различных рисунков и различных толщин пленок одного и того же материала.

Программа параллельного напыления позволяет получать либо пленки сложного состава (при одновременном напылении из нескольких ЗИДД), либо многослойные композиции (при попеременной работе нескольких ЗИДД).

Программа смешанного последовательно-параллельного напыления может быть использована для получения как многослойных конструкций, так и пленок разных конфигураций, толщин и материалов на одной подложке.

На описанной в данной работе установке были разработаны пять алгоритмов технологического исследования (АТИ), позволяющих установить качество изготовления ЗИДД, оптимальный режим его работы и наилучшие условия получения пленок с заданными структурой и свойствами.

АТИ-1. Определяется разброс толщины пленок на разных

подложках N_n , когда время открытия затвора τ одно и то же (длительность импульса постоянная), температура подложки T_n и испарителя T_u постоянны. Одновременно выясняются фоновые характеристики ЗИДД (рассеяние с различных экранов вакуумной камеры и паразитная утечка паров из испарителя). Длительность фона испарителя — t . Под фоном испарителя понимается толщина покрытия на подложке (обращенной к испарителю), образуемая за время нахождения его в закрытом состоянии.

Т а б л и ц а 1

N_n	1	2	3	4	...	$n-1$	n
t	t_1		t_2		...	t_{n-1}	
τ		τ_1		τ_1	...		τ_1

Здесь длительность испарения τ остается постоянной, фоновое время t изменяется. АТИ-1 позволяет установить качество изготовления ЗИДД (герметичность его уплотнения).

АТИ-2. Исследование зависимости толщины пленки от длительности импульса ЗИДД. При $T_u = const$, $T_n = const$, $t = const$.

Т а б л и ц а 2

N_n	1	2	3	4	...	$n-1$	n
t	t_1		t_1		...	t_1	
τ		τ_1		τ_2	...		τ_{n-1}

АТИ-3. Исследование зависимости свойств пленок от числа импульсов κ при $T_u = const$, $T_n = const$, $t = const$, $\tau = const$.

Т а б л и ц а 3

N_n	1	2	3	4	...	$n-1$	n
κ	κ_1	κ_2	κ_3	κ_4	...	κ_{n-1}	κ_n
t	t_1	t_1	t_1	t_1	...	t_1	t_1
τ	τ_1	τ_1	τ_1	τ_1	...	τ_1	τ_1

АТИ-4. Исследование зависимости свойств пленок от суммарной длительности импульса τ при постоянном количестве импульсов $\kappa = \text{const}$ и при $T_u = \text{const}$, $T_n = \text{const}$, $t = \text{const}$.

Т а б л и ц а 4

N_n	1	2	3	4	...	$n-1$	n
κ	κ_1	κ_1	κ_1	κ_1	...	κ_1	κ_1
τ	τ_1	τ_2	τ_3	τ_4	...	τ_{n-1}	τ_n
t	t_1	t_1	t_1	t_1	...	t_1	t_1

АТИ-5. Снятие диаграмм направленности ЗИДД для выяснения распределения пленок по толщине на подложках при различном характере течения потока молекул пара испаряемого вещества через выходной канал камеры ЗИДД. При этом коэффициент конденсации равен единице, $T_n = \text{const}$, $\tau = \text{const}$, $t = \text{const}$, $\kappa = 1$,

N_m - номер маски.

Т а б л и ц а 5

N_m	1..... m	1..... m	1..... m	1..... m
T_u	$T_{u_1}..... T_{u_1}$	$T_{u_2}..... T_{u_2}$	$T_{u_i}..... T_{u_i}$	$T_{u_n}..... T_{u_n}$

Очевидно, что при некотором определенном количестве подложек, размещенных внутри вакуумной камеры, рассмотренные выше технологические эксперименты могут быть объединены одним алгоритмом и осуществлены за один вакуумный цикл.

Подобного типа алгоритмы технологических исследований могут быть составлены для выяснения зависимости электрофизических свойств пленок и от других параметров (температуры подложек и испарителей, давления и состава остаточных газов вакуума и т.д.).

Таким образом, разработанная система автоматизированного технологического исследования с использованием закрытого термического испарителя дискретного действия существенно сокращает время нахождения оптимальных технологических режимов получения пленок с заданными свойствами, а также позволяет проводить различные технологические исследования в течение одного вакуумного цикла, что значительно уменьшает влияние неконтролируемых параметров.

Л и т е р а т у р а

1. C.J.Kraus, Electronics Reliability Microminiaturization, v.I, j-s (1962).
2. A.Bobenrieth, Vide, 21 (1966).
3. N.A.Wraight, Electr.Compon., 7, N II (1966).
4. Developing a continuous Vacuum Processing like Res/Deve - lopm., I4, N 6 (1963).
5. S.Hideo, Electr. Commun.Lab.Tech.J., I4, N5 (1965).
6. Радиозлектроника за рубежом, вып.II, 1962.
7. Machine automatique a'films minces, R.D. Electr.industr., N7 (1963).
8. И.С.Лискер. О возможности создания динамической системы напыления пленок и пленочных устройств. Данный сборник, стр.89-98.
9. И.С.Лискер, Е.И.Черепов. Замкнутый испаритель дискретного действия. - Данный сборник, стр.II9-131.
10. Е.И.Черепов. О некоторых молекулярно-кинетических характеристиках термических испарителей. - Данный сборник, стр. 99-II7.

Ленинградский агро-
физический институт.
Институт математики
СО АН СССР.

Поступила в редакцию
14.VI.1967 г.