

МОЮЩИЕ РАБОЧИЕ ПОЗИЦИИ АВТОМАТИЧЕСКИХ ЛИНИЙ ФОТОЛИТОГРАФИИ НА ПЛАТАХ ТОНКОПЛЁНОЧНЫХ МИКРОСБОРОК И ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПЛАСТИН С АДАПТИРОВАННЫМИ ГЕНЕРАТОРАМИ ПЕНЫ

Попов В.В. Email: Popov1163@scientifictext.ru

*Попов Виктор Владимирович - специалист по данным,
ООО Орех Analytics, г. Чикаго, Соединенные Штаты Америки,
магистр компьютерных наук,
Корнелльский университет, г. Нью Йорк, Соединенные Штаты Америки,
бакалавр мехатроники и робототехники,
Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана, г. Москва*

Аннотация: в данной работе рассматриваются моющие рабочие позиции автоматических линий фотолитографии. Основное внимание фокусируется на вопросах модернизации оборудования на базе линий фотолитографии на платах тонкопленочных микросборок и полупроводниковых пластин с интеграцией генераторов пены, представляющих собой мехатронное (и, потенциально, робототехническое) устройство. Автор подробно описывает принцип действия рабочей позиции с интегрированным генератором пены как сложной мехатронной системы. Приводится детальная классификация предложенного технического решения в части способа. Автор в деталях описывает отдельные структурные компоненты центрифуги рабочей позиции модуля линии фотолитографии и их взаимосвязи. Также в статье описывается оценка технологического и коммерческого потенциала изобретения, основанная на сравнении с существующими устройствами, исходя из которой делается вывод о превосходстве предлагаемого решения.

Ключевые слова: аэродинамический генератор пены, робототехника, мехатроника, автоматическая производственная линия.

CLEANSING POSITIONS OF AUTOMATIC PHOTOLITHOGRAPHY LINES BASED ON THIN-FILMED MICRO-ASSEMBLY PLATES AND SEMICONDUCTOR PLATES WITH INTEGRATED FOAM GENERATORS

Popov V.V.

*Popov Victor Vladimirovich - data Scientist,
LLC OPEX ANALYTICS, CHICAGO, UNITED STATES OF AMERICA,
Master of Engineering in Computer Science,
CORNELL UNIVERSITY, NEW YORK, UNITED STATES OF AMERICA,
Bachelor's Degree in Mechatronics and Robotics,
BAUMAN MOSCOW STATE TECHNICAL UNIVERSITY, MOSCOW*

Abstract: in this article cleansing positions of automatic photolithography lines are considered. Main attention is focused on a problem of modernization of equipment based on photolithography lines with thin-filmed micro-assembly plates and semiconductor plates with integration of foam generators which are the mechatronic devices (and can be extended to be robotic). Author describes in details the operating principle of working position with integrated foam generator as a complex mechatronic system. The in-depth classification of the suggested engineering solution is provided in terms of method. Author describes in details different structural components of the working position centrifuge of photolithography line module and their interconnections. In this article author also provides the examination of the technological and commercial potential of the invention based on comparison with the existing devices which results in conclusion of the supremacy of the suggested solution.

Keywords: aerodynamic foam generator, robotics, mechatronics, automatic industrial line.

УДК 62-52

Введение

В технологическом процессе полупроводникового производства и при производстве плат тонкопленочных микросборок и их эквивалентов операции отмывки и подготовки поверхностей имеют решающее значение для обеспечения надлежащего качества. При этом всегда существует двойкий подход к выбору наиболее подходящего варианта: варианта с применением химических реагентов и вариантов без применения таковых.

Применение химических реагентов упрощает задачу в целом, но вносит в процесс целый ряд условий, которые вначале можно отнести к разряду второстепенных, если не брать во внимание возникающие при этом в дальнейшем экологические проблемы. Кроме того стоимость химических реагентов и особенно утилизации отходов с их наличием требуют всё больших затрат, которые существенно влияют на конечную стоимость электронных продуктов. Но проблемы не ограничиваются только стоимостью, а усугубляются тем обстоятельством, что очистка и регенерация отходов производства требуют также специального дополнительного технологического оборудования, производственных площадей и обслуживающего персонала.

В такой ситуации имеет смысл детального анализа любых альтернативных решений, особенно тех, которые позволяют свести к минимуму потребление химических реагентов и при этом обеспечивают достаточный уровень качества. К такого рода техническим решениям можно отнести аэродинамические и гидродинамические генераторы пены и производные технические решения, при реализации которых используются аналогичные конструктивные, физические и технологические принципы.

Генераторы пены без использования химических реагентов

Как показала первичная практика, интеграция в сложившуюся инфраструктуру специального технологического оборудования для, например, фотолитографии и технической химии, простых, компактных и надёжных решений по формированию генераторов пены, работающих по аэродинамическому принципу и способных в определённых условиях работать и по гидродинамическому принципу, являются наиболее оптимальным и реально внедряемым предметом модификации, не требующим к тому же каких-то структурных изменений в базовом оборудовании и его принципиальных конструктивных и технологических решениях. Рассмотрим примеры такой модернизации на базе линий фотолитографии на платах тонкоплёночных микросборок и полупроводниковых пластин (рис. 1).

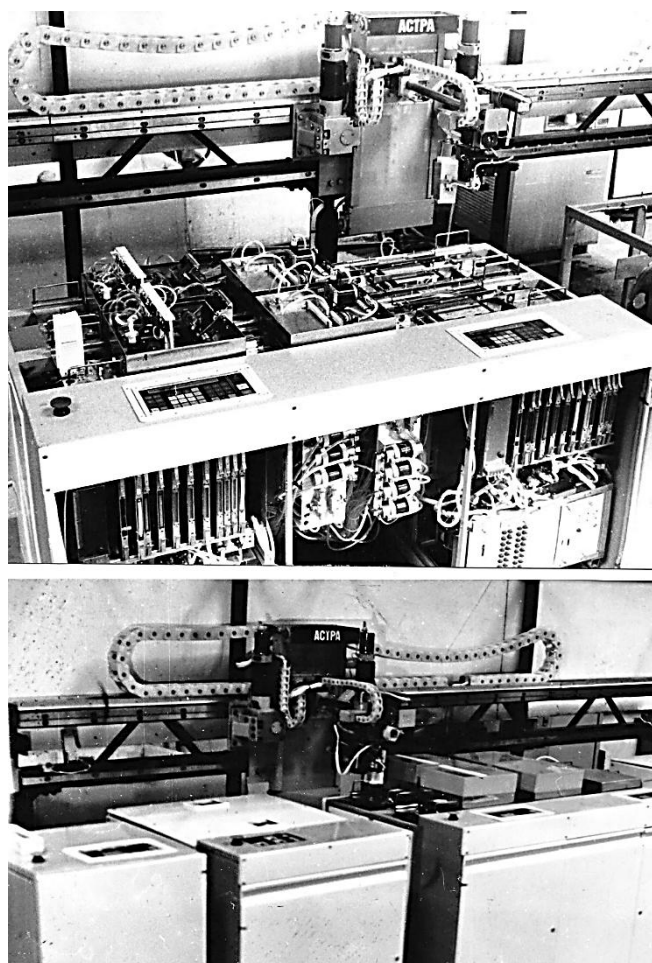


Рис. 1. Виды гибких автоматизированных модулей фотолитографии на платах тонкоплёночных микросборок

Описание рабочей позиции с интегрированным генератором пены

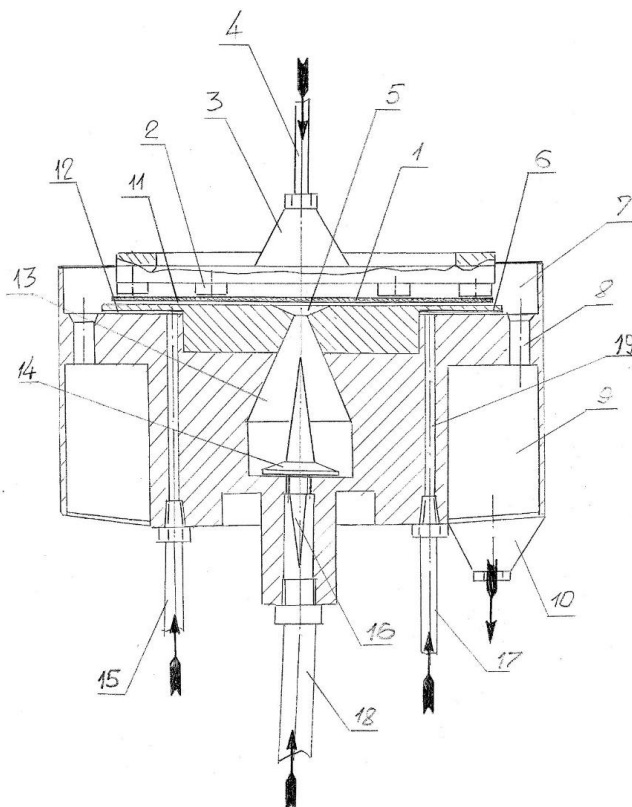


Рис. 2. Центрифуга рабочей позиции модуля линии фотолитографии на платах тонкоплёночных микросборок и модулей фотолитографии на полупроводниковых пластинах, диаметром до 300 мм

Цифрами на рисунке обозначены: 1 - полупроводниковая плата, диаметром 300 мм; 2 - захват робота (может быть аэродинамический или бесконтактный); 3 - элементы конструкции руки робота; 4 - подвод сжатого воздуха к руке робота; 5 - конический раструб распределяющий пену по отмываемой поверхности; 6 - внутренняя поверхность стола рабочей позиции по которой движется сжатый газ, удаляющий отработанную пену в сборник отработанной пены; 7 - ёмкость рабочей позиции, которая служит сборником отработанной пены; 8 - отверстия в корпусе рабочей позиции по которым отработанная пена сливается в сборник отработанной пены; 9 - сборник отработанной пены (кольцевой); 10 - вентиль в днище сборника отработанной пены, через который отработанная пена сливается в модуль регенерации пены и сопутствующих жидких и аэрозольных веществ; 11 - рабочий зазор между полупроводниковой платой и между столом рабочей позиции, в котором от центра в радиальных направлениях движется пена, отмывающая поверхность полупроводниковой платы и одновременно очищающая эту поверхность от загрязняющих частиц и уносящая эти частицы в сборник; 12 - рабочий зазор между столом рабочей позиции (обратной стороной) и верхней плоскостью корпуса, по которой движется очищающий поток сжатого газа; 13 - накопительный конус встроенного генератора пены; 14 - коническое основание конического рефлектора встроенного генератора пены; 15 - патрубок для подачи сжатого газа в систему очистки и удаления отходов из рабочей позиции в кольцевой сборник; 16 - конический отражатель генератора пены, распределяющий поток сжатого газа перед подачей в зону формирования пены; 17 - патрубок для подачи сжатого газа в систему очистки и удаления отходов из рабочей позиции в кольцевой сборник; 18 - патрубок для подачи основного рабочего агента в генератор пены; 19 - вертикальные каналы, по которым очищающий сжатый газ равномерно распределяется по кругу рабочей позиции.

Принцип действия рабочей позиции с интегрированным генератором пены следующий. Полупроводниковая плата захватывается аэродинамическим захватным устройством в котором захваты расположены по окружности. Аэродинамическое захватное устройство устанавливается концентрично (коаксиально) оси генератора пены. Генератор пены начинает вырабатывать пену, которая по образовавшемуся каналу между обрабатываемой поверхностью полупроводниковой платы и верхней плоскостью корпуса рабочей позиции после завершения обработки поверхности полупроводниковой платы сдувается в сборник отработанной пены и сопутствующих отходов.

Классификация технического решения в части способа

1. Способ аэродинамической отмывки поверхностей, включающий:

1) формирование в слое жидкости, в которой осуществляется отмывка, локальной, подвижной как минимум в двух координатах одной плоскости, объёмной зоны псевдо-кипящего моющего компаунда, состоящего из аэродинамического и гидродинамического компонентов;

2) формирование в объёмной зоне псевдо-кипящего моющего компаунда, конического кольцевого потока с высоким уровнем турбулентности, имеющего вихревую тороидальную форму;

2. Устройство для аэродинамического вспенивания и смешивания жидкостей, преимущественно в виде водных растворов, преимущественно имеющих в своём составе органические и неорганические жидкие компоненты, и находящихся в состоянии движения, содержащее:

1) гидродинамическую систему для ввода, преобразования, вывода и разгона последовательно преобразуемых по форме и направлению движения скоростных потоков одного из жидких компонентов, направляемых в указанную систему под давлением;

2) гидродинамическую систему для ввода, преобразования, вывода и разгона, последовательно преобразуемых по форме и направлению движения потоков второго жидкого компонента, направляемого в указанную систему под воздействием сил гравитации;

3) связывающий обе системы гидромеханический интерфейс, входящий коническими отражателями в внутренние полости каждой из указанных систем.

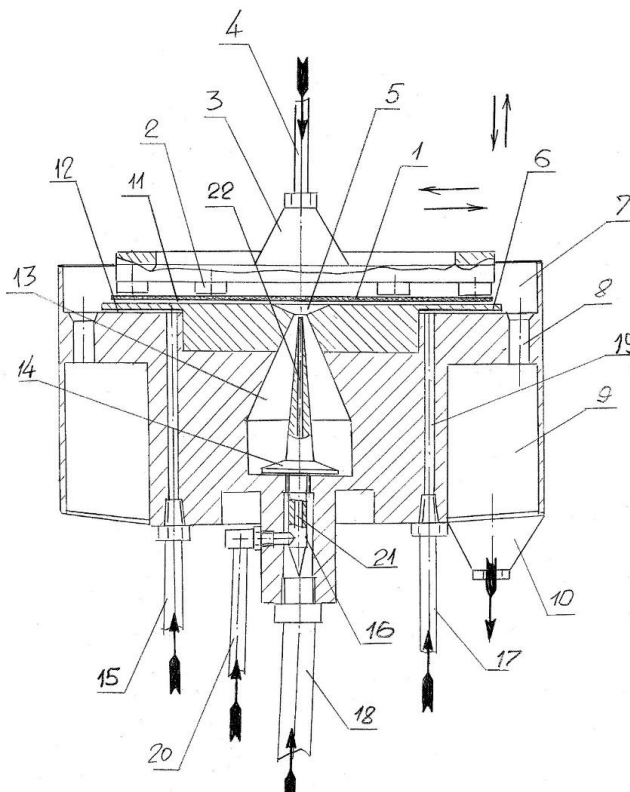


Рис. 3. Центрифуга рабочей позиции модуля линии фотолитографии на платах тонкоплёночных микросборок и модулей фотолитографии на полупроводниковых пластинах, диаметром до 300 мм

Цифрами на рисунке обозначены: 1 - полупроводниковая плата, диаметром 300 мм; 2 - захват робота (может быть аэродинамический или бесконтактный); 3 - элементы конструкции руки робота; 4 - подвод сжатого воздуха к руке робота; 5 - конический раструб распределяющий пену по отмываемой поверхности; 6 - внутренняя поверхность стола рабочей позиции по которой движется сжатый газ, удаляющий отработанную пену в сборник отработанной пены; 7 - ёмкость рабочей позиции, которая служит сборником отработанной пены; 8 - отверстия в корпусе рабочей позиции, по которым отработанная пена сливается в сборник отработанной пены; 9 - сборник отработанной пены (кольцевой); 10 - вентиль в днище сборника отработанной пены, через который отработанная пена сливается в модуль регенерации пены и сопутствующих жидких и аэрозольных веществ; 11 - рабочий зазор между полупроводниковой платой и между столом рабочей позиции, в котором от центра в радиальных направлениях движется пена, отмывающая поверхность полупроводниковой платы, и

одновременно очищающая эту поверхность от загрязняющих частиц, и уносящая эти частицы в сборник; 12 - рабочий зазор между столом рабочей позиции (обратной стороной) и верхней плоскостью корпуса, по которой движется очищающий поток сжатого газа; 13 - накопительный конус встроенного генератора пены; 14 - коническое основание конического рефлектора встроенного генератора пены; 15 - патрубок для подачи сжатого газа в систему очистки и удаления отходов из рабочей позиции в кольцевой сборник; 16 - конический отражатель генератора пены, распределяющий поток сжатого газа перед подачей в зону формирования пены; 17 - патрубок для подачи сжатого газа в систему очистки и удаления отходов из рабочей позиции в кольцевой сборник; 18 - патрубок для подачи основного рабочего агента в генератор пены; 19 - вертикальные каналы, по которым очищающий сжатый газ равномерно распределяется по кругу рабочей позиции; 20 - патрубок для ввода в рабочую позицию второго рабочего агента; 21 - канал для ввода второго рабочего агента в зону формирования пены; 22 - канал в коническом рефлекторе генератора пены, по которому второй рабочий агент вводится в зону формирования пены.

Продолжение классификации технической системы в части – модуля, устройства и аэродинамического и гидродинамического интерфейса:

3. Модуль для аэродинамической флотации, содержащий вводный контур, выход которого соединён с вводом в кольцевую рабочую полость, имеющую перелив в верхней части, и содержащую в нижней части, связанную с магистралью подготовки газообразного сжатого рабочего агента, систему аэродинамических и гидродинамических механизмов, смонтированных на кольцевом ресивере, расположенном в нижней части кольцевой полости и равномерно распределённых по верхнему торцу ресивера, внутренняя полость которого соединена с выходом магистрали подготовки газообразного сжатого рабочего агента, причём кольцевая полость в верхней части соединена с концентричной ей и кольцевому ресиверу цилиндрической ёмкостью, имеющей в донной части выход в сборник пены и конденсата, и, рабочий верхний торец которой расположен выше уровня перелива;

4. Модуль для аэродинамической флотации в соответствии с пунктом 7, отличающийся тем, что система аэродинамических и гидродинамических механизмов представляет собой равномерно распределённые по окружности верхнего торца ресивера устройства аэродинамического вспенивания жидкостей;

5. Модуль для аэродинамической флотации в соответствии с пунктом 7, отличающийся тем, что вводное устройство для вспениваемой жидкости расположено ниже уровня верхнего торца ресивера с устройствами аэродинамического вспенивания жидкости;

6. Модуль для аэродинамической флотации в соответствии с пунктом 7, отличающийся тем, что выводное устройство для жидкости после вспенивания расположено ниже уровня верхнего торца цилиндрической ёмкости, имеющей в донной части выход в сборник пены и конденсата;

7. Способ аэродинамического вспенивания жидкостей путём создания за счёт преобразований формы и скорости аэродинамического потока газообразного рабочего агента зоны пониженного давления и введения в эту зону с двух сторон от неё, с одной стороны совпадающей с направлением ввода газообразного рабочего агента, равномерно распределённых по объёму указанной зоны, микро-потоков сжатого газообразного рабочего агента, и, с другой стороны, втягивание в указанную зону торообразного потока вспениваемой жидкости с высоким уровнем турбулентности и создание в зоне соединения двух потоков - аэродинамического и гидродинамического псевдо-кипящего слоя;

8. Устройство для вспенивания жидкостей, преимущественно состоящих из нескольких компонентов, как минимум один из которых имеет органическое происхождение, состоящее из:

1) устройства для ввода и преобразования потока газообразного рабочего агента, находящегося под давлением;

2) механизма последовательного преобразования потока газообразного рабочего агента в кольцевую коническую воронку на дне корпуса генератора пены, включающего две части, -аэродинамическую и гидродинамическую, соединённые между собой системой равномерно распределённых по дну корпуса генератора пены капиллярных отверстий;

3) механизма последовательного изменения направления движения потоков газообразного рабочего агента и введения указанных потоков с высоким уровнем турбулентности в кольцевой поток с высоким уровнем турбулентности вспениваемой жидкости;

4) механизма насыщения кольцевого турбулентного потока вспениваемой жидкости пузырьками газообразного рабочего агента;

4) механизма формирования в объёме турбулентного потока жидкости псевдо-кипящего слоя;

5) устройства вывода сформированной пены из рефлектора-оболочки;

6) аэродинамического и гидродинамического интерфейса, связывающего аэродинамическую и гидродинамическую части устройства для вспенивания жидкостей, выполненного в виде цилиндрического

штифта, имеющего по обе стороны от него конические отражатели, вершины конусов которых направлены в противоположные стороны.

Как видно из вышеизложенного, высокий уровень универсальности и так называемой всеядности методов аэродинамического вспенивания и формирования гомогенной пены, позволяют применить данные технологии в основных и вспомогательных процессах так называемых умных технологий, особенно в процессах связанных с направлением умного производственного процесса, в свою очередь особенно с производственными процессами в которых априори не планируется или в которых ограничивается применение всевозможных химических реагентов.

Кроме того неограниченные возможности по он-лайн активации технологических растворов и по их же он-лайн гомогенизации с дополнительной возможностью повторной гомогенизации или повторного процесса формирования эмульсии, в сочетании с другими преимуществами технологии и техники позволяют продолжить процесс развития интеграции инновационного метода генерации пены в умные технологии производства и в умные технологии транспортирования.

Оценка технологического и коммерческого потенциала изобретения

Для оценки технологического и коммерческого потенциала изобретённого аэродинамического генератора пены, предлагается следующая методология. Основные параметры, по которым ведётся сравнительный анализ технологического оборудования, созданного на базе технологии аэродинамического вспенивания водных растворов и технологического оборудования, созданного на базе других технологий и поставляемого на рынок в настоящее время:

1. Производственная площадь, необходимая для установки и функционирования оборудования;
2. Габаритные размеры оборудования;
3. Вспомогательная производственная площадь необходимая для функционирования оборудования;
4. Трудозатраты на обслуживание оборудования в расчёте на 100 галлонов обработанного водного раствора;
5. Стоимость утилизации отходов в расчёте на 100 галлонов обработанного водного раствора;
6. Потребность в электроэнергии в расчёте на 100 галлонов обработанного водного раствора;
7. Удельная потребность в энергии в расчёте на 1 миллиграмм загрязнений, удалённых из одного галлона водного раствора;
8. Затраты времени, необходимые для удаления 10% загрязнений из 100 галлонов водного раствора, при исходной концентрации в 100 миллиграмм на литр водного раствора;
9. Затраты времени, необходимые для удаления 10% загрязнений из 100 галлонов водного раствора, при исходной концентрации в 200 миллиграмм на литр водного раствора;
10. Затраты времени, необходимые для удаления 10% загрязнений из 100 галлонов водного раствора, при исходной концентрации в 500 миллиграмм на литр водного раствора;
11. Затраты времени, необходимые для удаления 10% загрязнений из 100 галлонов водного раствора, при исходной концентрации в 1000 миллиграмм на литр водного раствора;
12. Затраты времени, необходимые для удаления 10% загрязнений из 100 галлонов водного раствора, при исходной концентрации в 2000 миллиграмм на литр водного раствора;
13. Удельная стоимость технологического оборудования в расчёте на исходную концентрацию углеводородных загрязнений в 100 миллиграмм на литр, производительностью в 250 галлонов в час и уровнем извлечения в 90%;
14. Удельная площадь, необходимая для размещения и монтажа оборудования в расчёте на производительность в 100 галлонов в час;
15. Необходимость в прокладке дополнительных коммуникаций и трубопроводов для монтажа оборудования;
16. Необходимость в специальных фундаментах для установки оборудования;
17. Необходимость в специальных противопожарных мероприятиях в помещениях, в которых установлено оборудование;
18. Гарантийные обязательства;
19. Срок эксплуатации оборудования;
20. Необходимость в специальных комплектах запасных частей и комплектующих изделий;
21. Необходимость в специальной подготовке персонала для работы и обслуживания оборудования;
22. Возможность встраивания в любые технологические линии и системы автоматического управления, в том числе и в системы управления и активного контроля с элементами искусственного интеллекта и с искусственными нейронными сетями;
23. Возможность автоматического контроля параметров оборудования, влияющих на результаты работы оборудования;

24. Количество регулируемых параметров технологического процесса реализуемого на оборудовании;
25. Возможность дистанционного управления оборудованием;
26. Возможность извлекать из водного раствора углеводородное минеральное сырьё;
27. Возможность извлекать из водного раствора смесь минерального углеводородного сырья с другими натуральными и синтетическими органическими компонентами;
28. Возможность извлекать из водного раствора комплексы, содержащие органические вещества в сочетании с ионами металлов и ионами тяжёлых металлов.

Особенную важность система квалификации технического уровня технической системы в качестве – надсистемы приобретает при оценке адаптации комплексов генераторов пены в гибкие производственные модули для фотолитографии на платах тонкоплёночных микросборок и полупроводниковых пластин большого диаметра.

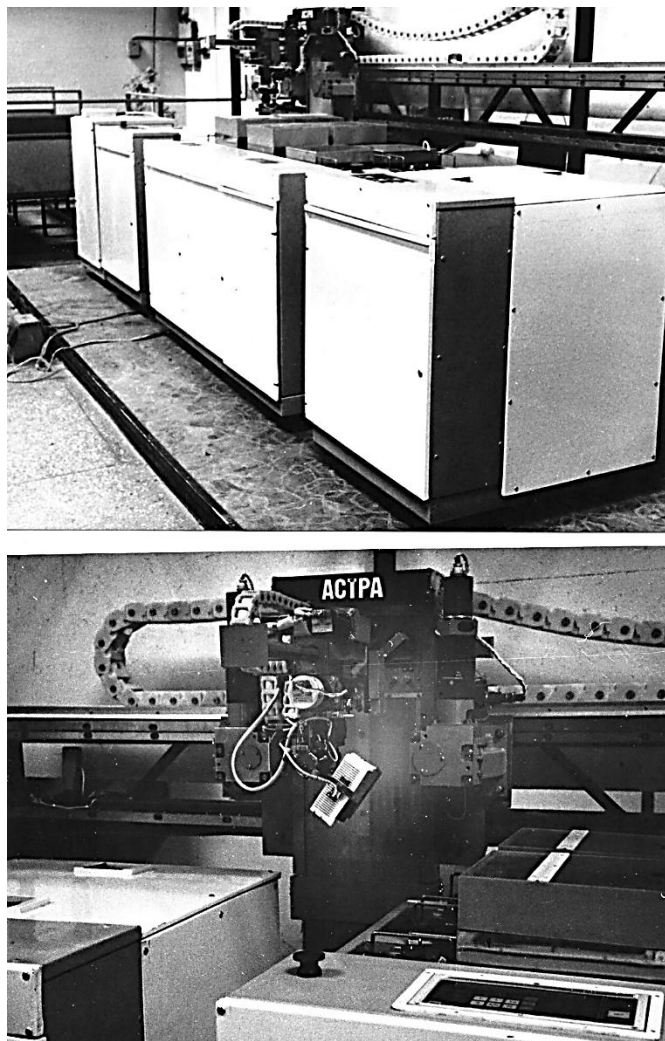


Рис. 4. На рисунке показаны виды специального технологического оборудования - гибкие автоматизированные производственные технологические модули для фотолитографии и технической химии на платах тонкоплёночных микросборок

Все модули гибкой технологической автоматической линии включают рабочие позиции для отмытки плат тонкоплёночных микросборок на всех этапах комплексного технологического процесса. Вся линия с роботом–оператором представлена на верхней части рисунка, характер операций робота по загрузке и разгрузке рабочих позиций представлены на нижней части рисунка.

Все заготовки плат тонкоплёночных микросборок содержатся в кассетах, в которых устанавливаются роботом на модули загрузки и в которых удаляются после обработки с модулей разгрузки в специальные накопители. Все рабочие позиции линии включают интегрированный в конструкцию рабочей позиции, включая

центрифуги, аэродинамический генератор пены, полностью адаптированный с конструктивным и технологическим принципами рабочей позиции модулей линии

Это позволяет начать разработку основных принципов дизайна центрифуги рабочей позиции гибкого автоматизированного модуля фотолитографии и технической химии, а также скоростных электрохимических покрытий на платах тонкоплёночных микросборок для вариантов интеграции систем генераторов пены в базовый дизайн центрифуг.

Список литературы / References

1. *Bristol Robert L. et al.* “Structures and methods for improved lithographic processing”, U.S. Patent 20180294167, issued October 11, 2018.
2. *Liao Chia-Feng et al.* “Photolithography tool and method thereof”, U.S. Patent 20170123328, issued May 4, 2017.
3. *Popov V.* “Application of vortical foam generators in automatic photolithography lines with control systems including elements of artificial intelligence and artificial neural networks”, *Vestnik Nauki I Obrazovaniya* №21 (75-1). 2019. doi: 10.24411/2312-8089-2019-12101.
4. *Sakakura Masayuki et al.* “Semiconductor device and manufacturing method thereof”, U.S. Patent 20170148827, issued May 25, 2017.
5. *Zhou Wen-Zhan et al.* “System and method for supplying and dispensing bubble-free photolithography chemical solutions”, U.S. Patent 20180067395, issued March 8, 2018.
6. *Lee Takhee et al.* “Method for manufacturing high-density organic memory device”, U.S. Patent 20170331040, issued November 16, 2017.
7. *Yuan Guangcai et al.* “Thin film transistor, array substrate and manufacturing method thereof, and display device”, U.S. Patent 20180138210, issued May 17, 2018
8. *Popov Victor.* Transformation of Aerodynamic Capture Principle to Dynamic Activation of Fuel Mixture principle, Program and Associated Method of Preliminary Tests, "Intellectual Archive" journal, vol.8, #3, 2019. doi: 10.32370/IAJ.2157.
9. *Takahashi Satoshi et al.* “Method of producing solid-state imaging device, solid-state imaging device, method of producing color filter, and color filter”, U.S. Patent 20180261639, issued September 13, 2018.
10. *Ho, Johnny Chung Yin et al.* “Optical mask for use in a photolithography process, a method for fabricating the optical mask and a method for fabricating an array of patterns on a substrate using the optical mask”, U.S. Patent 20190064656, issued February 28, 2019.
11. *Hasebe Kazuhide et al.* “MASK PATTERN FORMING METHOD, FINE PATTERN FORMING METHOD, AND FILM DEPOSITION APPARATUS”, U.S. Patent 20180019113, issued January 18, 2018.
12. *Hasebe Kazuhide et al.* “Mask pattern forming method, fine pattern forming method, and film deposition apparatus”, U.S. Patent 20170162381, issued June 8, 2017.
- 13.