

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

**Попов В.В.**

*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 тонкоплёночных 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.*

## **Введение**

В технологическом процессе полупроводникового производства и при производстве плат тонкоплёночных 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).

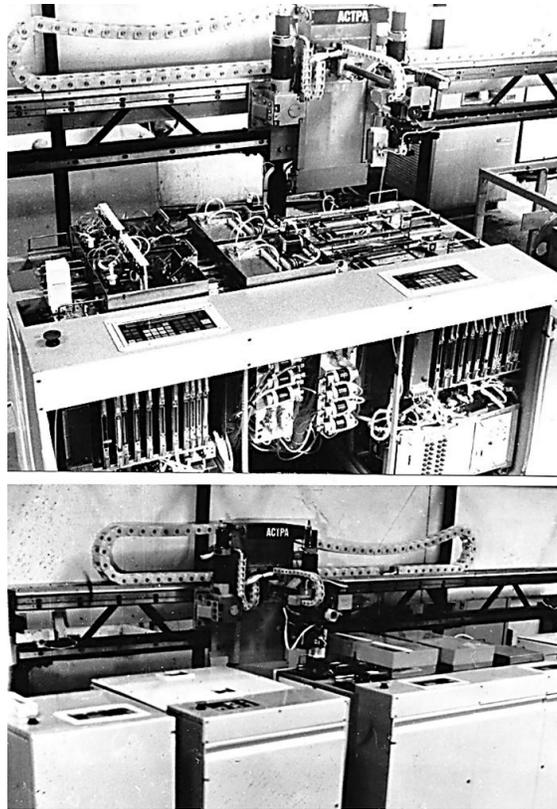


Рис. 1. Виды гибких автоматизированных модулей фотолитографии на платах тонкоплёночных микросборок

**Описание рабочей позиция с интегрированным генератором пены**

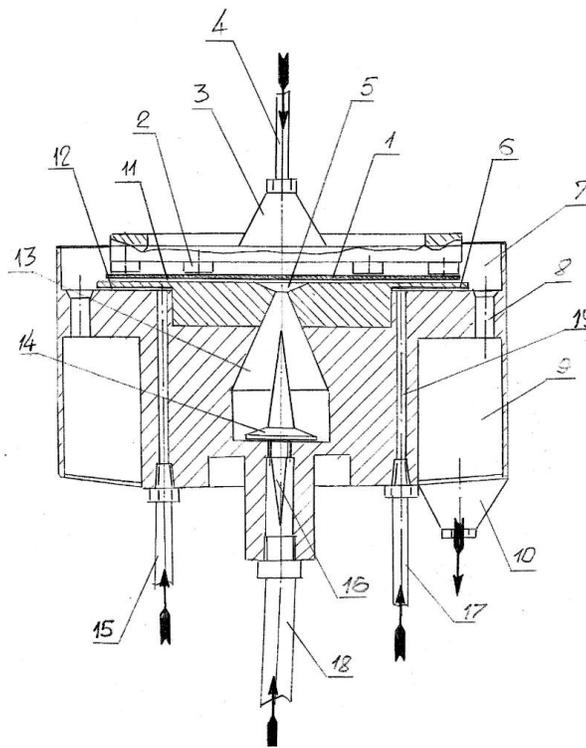


Рис. 2. Центрифуга рабочей позиции модуля линии фотолитографии на платах тонкоплёночных микросборок и модулей фотолитографии на полупроводниковых пластинах, диаметром до 300 мм

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;

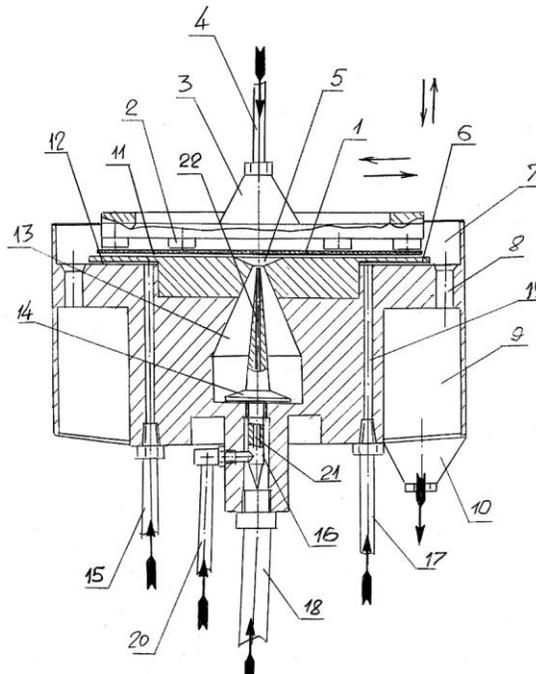


Рис. 3. Центрифуга рабочей позиции модуля линии фотолитографии на платах тонкоплёночных микросборок и модулей фотолитографии на полупроводниковых пластинах, диаметром до 300 мм

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 - клапан 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;

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

6) устройства вывода сформированной пены из рефлектора-оболочки;

7) 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.

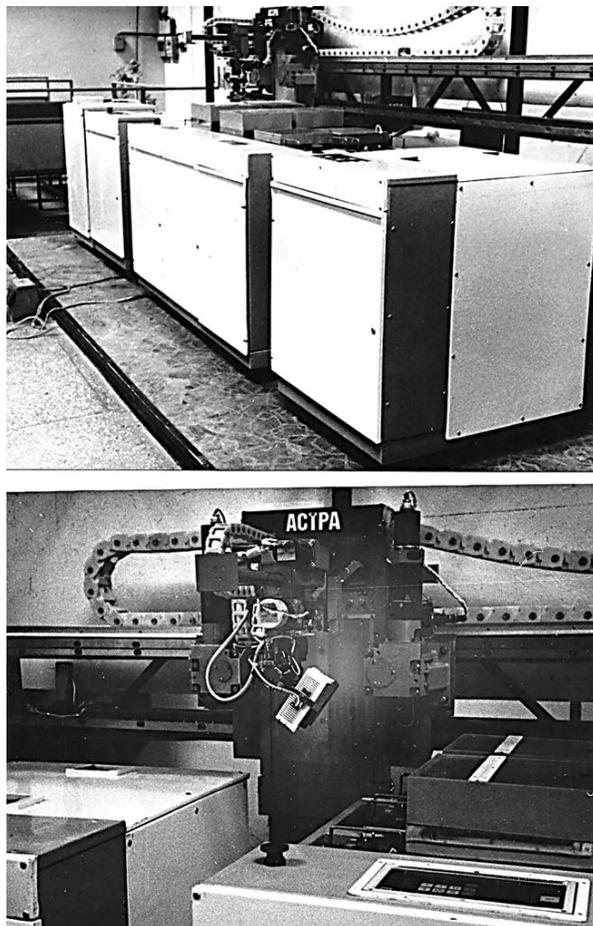
Кроме того неограниченные возможности по он-лайн активации технологических растворов и по их же он-лайн гомогенизации с дополнительной возможностью повторной гомогенизации или повторного процесса формирования эмульсии, в сочетании с другими преимуществами технологии и техники позволяют продолжить процесс 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. 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 отмывки 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**

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.