

**ПРИМЕНЕНИЕ ВИХРЕВЫХ ГЕНЕРАТОРОВ ПЕНЫ В АВТОМАТИЧЕСКИХ  
ЛИНИЯХ ФОТОЛИТОГРАФИИ С СИСТЕМАМИ УПРАВЛЕНИЯ И КОНТРОЛЯ,  
ВКЛЮЧАЮЩИМИ ЭЛЕМЕНТЫ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА И  
ИСКУССТВЕННЫЕ НЕЙРОННЫЕ СЕТИ**  
**Попов В.В. Email: Popov675@scientifictext.ru**

*Попов Виктор Владимирович - специалист по данным,  
ООО Ореx 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 рассмотрены вихревые генераторы пены, которые предлагается использовать в автоматических линиях фотолитографии для подготовки поверхности заготовок перед нанесением фоторезиста. Такой подход имеет сразу несколько преимуществ, наиболее важными из которых являются высокое качество очищения обрабатываемой поверхности, а также компактность вихревых генераторов пены, которая обеспечивает возможность включения в состав линии дополнительных инструментов, расширяющих ее функциональность. В статье подробно описывается принцип работы аэродинамических генераторов пены, их структурный состав, а также непосредственно способ аэродинамического генерирования пены. Рассматривается рабочая позиция линии фотолитографии на полупроводниковых пластинах, а также варианты интеграции в нее описываемого генератора пены. Особое внимание уделяется аргументации целесообразности применения именно этого устройства в автоматических линиях фотолитографии. Приводятся отличительные признаки вихревого генератора пены по сравнению с его аналогами в рамках поставленной задачи. Данное устройство способно поддерживать управление с помощью алгоритмов искусственного интеллекта и искусственных нейронных сетей. Это позволяет обрабатывать более сложные режимы управления по сравнению с классическими схемами контроля подобными установками, а также повысить точность осуществляемых операций.  
**Ключевые слова:** генератор пены, робототехника, линия фотолитографии, искусственный интеллект.

**APPLICATION OF VORTICAL FOAM GENERATORS IN AUTOMATIC  
PHOTOLITHOGRAPHY LINES WITH CONTROL SYSTEMS INCLUDING  
ELEMENTS OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE AND ARTIFICIAL NEURAL  
NETWORKS**  
**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*

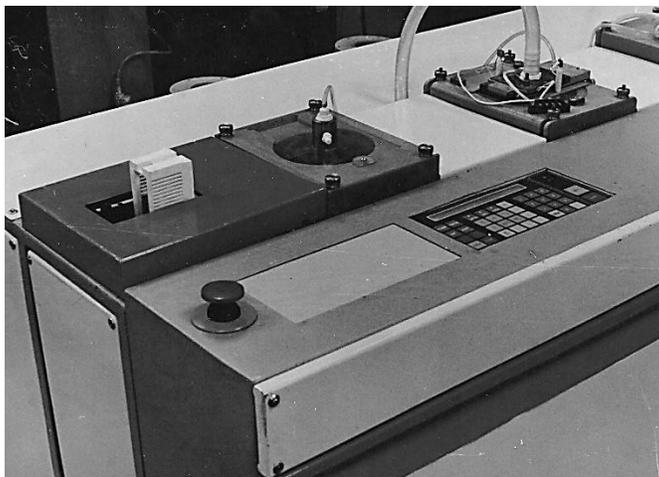
**Abstract:** in this article vortical foam generators are considered, which usage is suggested in automatic photolithography lines for surface preparation of the raw workpieces before photoresist coating. This approach has several advantages. The most important among them are high quality of processing surface cleaning, and also compactness of the vortical foam generators that allows to include in the assembly line additional instruments that will increase its functionality. In this article author describes in details operation principles of aerodynamic foam generators as well as their structural components and method of aerodynamic foam generation. Working position of the semiconductor-based photolithography lines is considered and integration option of discussed foam generator in it. Special attention is paid to argumentation of expediency of applying this device in automatic photolithography lines. Author provides distinctive features of the vortical foam generator in comparison to its analogues given the specified problem. This device can be controlled by algorithms of artificial intelligence and artificial neural networks. This allows to perform more complex operation modes in comparison to classic systems used to control such equipment and to improve precision of the performed operations.

**Keywords:** foam generator, robotics, photolithography line, artificial intelligence.

УДК 05.02.02

### **Введение**

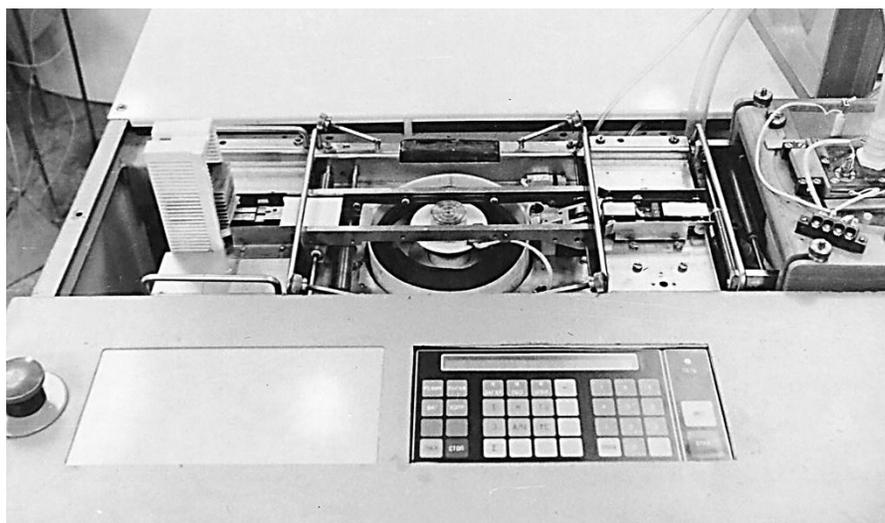
Для операций подготовки поверхности заготовок для нанесения фоторезиста используются аэродинамические генераторы пены. Для управления установками линии применяются сенсорные панели с бегущей строкой, причём системы управления и активного контроля включают элементы искусственного интеллекта и искусственные нейронные сети. Учитывая предельную насыщенность рабочего пространства установок рабочими элементами, применение высокоэффективных аэродинамических генераторов пены позволяет одновременно с высоким качеством получить возможность параллельно включить в число действующих механизмов и инструментов линии дополнительные инструменты и агрегаты, что существенно расширяет диапазон применения линии.



*Рис. 1. Установка автоматической линии фотолитографии на полупроводниковых пластинах и на платах тонкоплёночных микросборок*

### **Цель исследования**

Целью исследования было поставлено рассмотрение варианта применения вихревого генератора пены на установках автоматических линий фотолитографии и анализ вытекающих из этого потенциальных преимуществ. Также в случае подтверждения целесообразности применения данного устройства, автором была поставлена задача подробно рассмотреть методы интеграции рассматриваемого генератора пены в существующие автоматические линии фотолитографии.



*Рис. 2. Рабочая позиция со снятыми защитными кожухами; видны следующие модули: модуль загрузки–разгрузки, модуль центрифуги и промежуточный транспортный модуль*

## **Материал и методы исследования**

### Отличительные черты аэродинамического генератора пены

Первичные отличительные признаки комплексного устройства для аэродинамического вспенивания жидкостей, можно сформулировать следующим образом:

1. Устройство для аэродинамического вспенивания жидкостей, содержащее:

- связанный с источником сжатого под давлением газообразного рабочего агента;
- механизм последовательного преобразования входящего в него осевого аэродинамического потока, указанного газообразного рабочего агента, в равномерно распределённые по плоскости, перпендикулярной к направлению движения потока указанного газообразного рабочего агента, центробежные, радиальные скоростные потоки;

- механизм аккумуляции, вывода и разгона радиальных скоростных потоков газообразного рабочего агента, введённый в гидродинамический, локальный вихреобразующий кольцевой канал, связанный с накопительным резервуаром с вспениваемой жидкостью;

- связующий оба механизма и локальный вихреобразующий гидродинамический кольцевой канал, конический рефлектор-оболочку локальной области формирования пены;

2. Устройство для аэродинамического вспенивания жидкостей, преимущественно в виде водных растворов, имеющих в составе органические и неорганические компоненты, содержащее:

- механизмы аккумуляции, ввода, вывода и разгона последовательно преобразуемых по форме и направлению движения скоростных потоков газообразного рабочего агента, введённого в указанные механизмы под давлением;

- гидродинамический механизм втягивания вспениваемой жидкости в зону вывода и разгона газообразного рабочего агента и образования в зоне соединения газообразной и жидкой сред локального вихре-образующего гидродинамического кольцевого канала с постепенно расширяющимся поперечным сечением;

- комбинированный аэродинамический и гидродинамический интерфейс, связывающий аэродинамические и гидродинамические механизмы устройства в пределах внутреннего объёма конического рефлектора - оболочки, причём в указанный интерфейс, в который входят, связанные фиксирующим, ориентирующим и определяющим дистанцию штифтом, конические отражатели аэродинамического и гидродинамического механизмов, газообразный рабочий агент подаётся посредством системы каналов аэродинамического механизма;

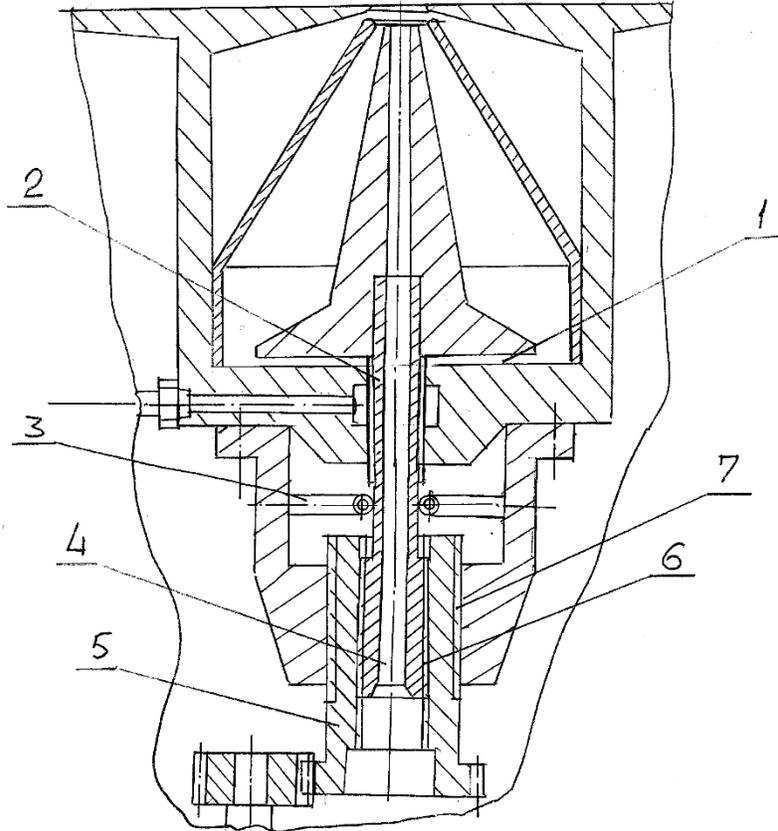


Рис. 3. Рабочая позиция линии фотолитографии на полупроводниковых пластинах для операций отмывки поверхности пластин перед нанесением фоторезиста, в которую встроен аэродинамический генератор пены

Цифрами на рисунке 3 обозначены:

- 1 – зазор между отражателем и корпусом – ванной, определяющий величину пузырьков пены;
- 2 – трубка–осевой канал, несущая выводной отражатель генератора пены;
- 3 – опоры качения, несущие трубку – осевой канал и установленный на ней отражатель;
- 4 – канал для подключения вакуума;
- 5 – опорная втулка рабочей позиции, предназначенная также для вертикальной регулировки;
- 6 – регулирующая резьбовая часть трубки – осевого канала;
- 7 – регулирующие устройства для опорного узла рабочей позиции

#### Целесообразность применения генераторов пены

Интеграция подсистемы генератора пены в надсистему рабочей позиции линии фотолитографии как на полупроводниковых пластинах так и на платах тонкоплёночных микросборок позволяет решить достаточно сложные технологические вопросы, связанные с пространственной компоновкой узлов и механизмов рабочей позиции и с качественным обеспечением операций подготовки поверхностей заготовок к нанесению фоторезиста и к всем последующим операциям, входящим в обязательный технологический цикл.

Особенно важно это решение для обеспечения необходимого уровня производственной унификации и технологической унификации, в которой благодаря использованию исключительных качеств подготовки поверхностей при их обработке при помощи микро–пены, можно сократить число вспомогательных рабочих операций и переходов и сконцентрировать внимание на финишных операциях при одновременной концентрации внимания на наиболее критичных операциях, - таких как, например, скоростные электрохимические покрытия на платах тонкоплёночных микросборок с целью предотвращения негативного влияния от краевого эффекта электродов. Кроме этого, относительная простота деталей генератора пены облегчают их введение в состав линий с более старыми версиями технологии фотолитографии и также техно-химии.

#### Принцип работы аэродинамического генератора пены

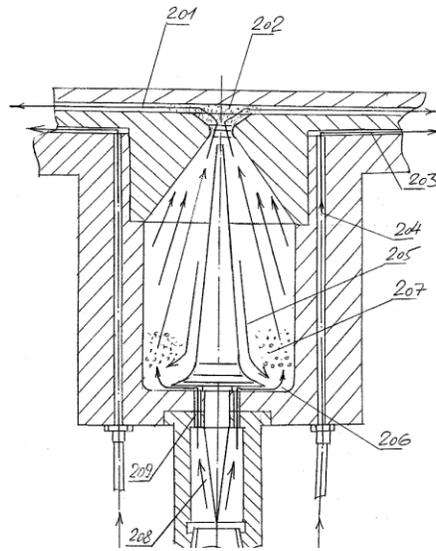


Рис. 4. Принцип действия аэродинамического генератора пены в рабочем цикле рабочей позиции автоматической линии фотолитографии на полупроводниковых пластинах

Цифрами на рисунке 4 обозначены:

- 201 – вспененный моющий материал, движущийся в радиальных направлениях;
- 202 – область концентрации пены перед началом движения в радиальных направлениях;
- 203 – канал, по которому движется поток сжатого воздуха для очистки обратной стороны платы;
- 204 – вертикальные каналы, по которым подаётся сжатый воздух для очистки обратной стороны платы;
- 205 – рабочая жидкость, втягиваемая в зону пониженного давления генератора пены;
- 206 – кольцевая зона пониженного давления генератора пены;
- 207 – зона начала формирования пены;
- 208 – зона распределения сжатого воздуха для подачи на вертикальные каналы;
- 209 – вертикальные каналы для распределения и подачи сжатого воздуха.

Таким образом, на основании вышеизложенного можно сформулировать способ аэродинамического генерирования пены следующим образом:

Способ аэродинамического генерирования пены в потоке жидкости, включающий в себя:

- подачу сжатого под давлением газообразного рабочего агента во внутреннюю полость накопитель;
- преобразование потока газообразного рабочего агента в кольцевую коническую газовую воронку на дне внутренней полости накопителя;
- разделение потока газообразного рабочего агента, накопленного в кольцевой газовой конической воронке на равные и равномерно расположенные скоростные микропотоки;
- аккумулярование и распределение микро-потоков газообразного рабочего агента с одновременным изменением направления их движения;
- ввод указанных потоков газообразного рабочего агента в кольцевой турбулентный поток вспениваемой жидкости также с высоким уровнем турбулентности, втянутой в коническую кольцевую полость корпуса генератора пены за счёт снижения давления в зоне движения потоков газообразного рабочего агента;
- насыщение кольцевого турбулентного потока жидкости пузырьками газообразного рабочего агента и создание в постоянно расширяющемся сечении турбулентного потока жидкости режима псевдокипящего слоя, способствующего псевдо взрыванию пузырьков газообразного рабочего агента и делению их на более мелкие, переходящие в гомогенную стабильную пену;

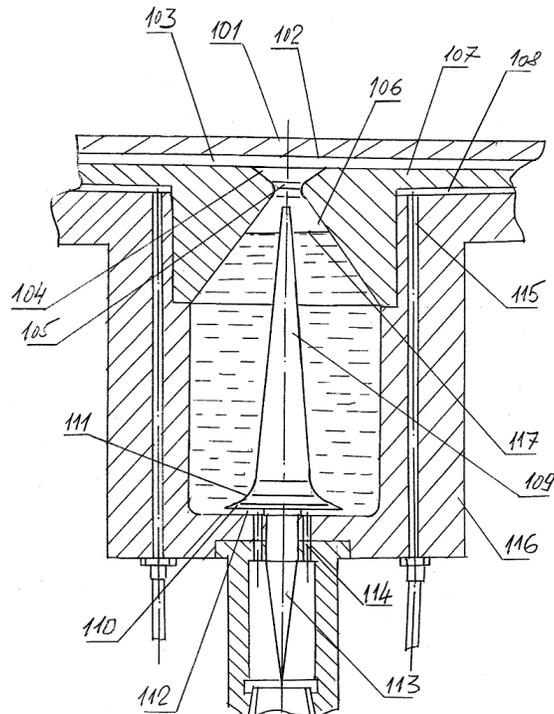


Рис. 5. Вид рабочей позиции в осевом сечении, в которую адаптирован и функционально интегрирован аэродинамический и гидродинамический генератор микро-пены

При этом на рисунке представлена версия, в которой рабочая жидкость помещена в камеру, в которую помещён отражатель генератора пены.

Цифрами на рисунке обозначены:

- 101 – очищаемая деталь;
- 102 – очищаемая поверхность;
- 103 – пространство, в котором распространяется сформированная пена конус для выхода пены;
- 104 – конус для выхода пены;
- 105 – концентрирующее кольцо;
- 106 – конус-накопитель пены;
- 107 – рабочий стол;
- 108 – канал, по которому движется сжатый воздух, сдувающий жидкость с обратной стороны платы;
- 109 – конус – отражатель генератора пены;
- 110 – раструб конуса – отражателя;
- 111 – обтекатель раструба конуса – отражателя генератора пены;
- 112 – зазор, определяющий диаметр пузырьков пены;
- 113 – отражатель аэродинамической секции генератора пены;
- 114 – распределительные отверстия генератора пены;
- 115 – вертикальные каналы, по которым подаётся воздух для очистки обратной стороны плат тонкоплёночных микросборок;
- 116 – корпус рабочей позиции;
- 117 – верхний уровень рабочей жидкости.

Таким образом, окончательно можем сформулировать характеристику построенной моечной головки для аэродинамической отмывки поверхностей:

Моечная головка для аэродинамической отмывки поверхностей, содержащая:

- механизм для подачи в локальную зону отмывки и последовательного преобразования по форме и направлению его движения потока газообразного рабочего агента;
- конический рефлектор-оболочку с механизмом формирования кольцевого турбулентного вихревого потока жидкости, покрывающей отмываемую поверхность;

**Заключение**

Совмещение функций генератора пены с функциями моечной головки для аэродинамической очистки поверхностей плат тонкоплёночных микросборок является одним из важнейших преимуществ линии, которое обеспечивает необходимое качество фотолитографии при максимальной простоте конструкции и высоком уровне надёжности оборудования. Такое комплексное интегрирование и совмещение также позволяют внедрить в технологический процесс операции активного контроля в режиме реального времени, в том числе и с использованием систем управления и контроля с элементами искусственного интеллекта и искусственных нейронных сетей.

#### *Список литературы / References*

1. *Yamazaki Shunpei et al.* “Semiconductor device and manufacturing method thereof”. U.S. Patent 20150357352, issued December 10, 2015.
2. *Yamazaki Shunpei et al.* “Semiconductor device and manufacturing method thereof”. U.S. Patent 20160358941, issued December 8, 2016.
3. *Singh Mandeep.* “Euv mask for use during euv photolithography processes”. U.S. Patent 20150140477, issued May 21, 2015.
4. *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.
5. *Swanson Kurt C. et al.* “Gold electroplating solution and method”. U.S. Patent 20160208401, issued July 21, 2016.
6. *Koyama Jun.* “Semiconductor device and manufacturing method thereof”. U.S. Patent 20150064841, issued March 5, 2015.
7. *Liao Chia-Feng et al.* “Photolithography tool and method thereof”. U.S. Patent 20170123328, issued May 4, 2017.
8. *Clevenger Lawrence A. et al.* “Method for air gap interconnect integration using photo-patternable low k material”, U.S. Patent 20120280398, issued November 8, 2012.
9. *Kanungo Mandakini et al.* “Apparatus and methods for ink-based digital printing using imaging plate having regular textured surface for reduced pullback”. *Clevenger Lawrence A. et al.* “Structures and methods for air gap integration”. U.S. Patent 20110260326, issued October 27, 2011.
10. *Wang Hsien-Cheng et al.* “Method and apparatus for cleaning a substrate”. U.S. Patent 20080156346, issued July 3, 2008.