

**«Advances in Science and Technology»**  
XL Международная научно-практическая конференция

31 октября 2021  
Научно-издательский центр «Актуальность.РФ»

СБОРНИК СТАТЕЙ

Collected Papers  
XL International Scientific-Practical conference  
**«Advances in Science and Technology»**

Research and Publishing Center  
«Actualnots.RF»,  
Moscow, Russia  
October, 31, 2021

Moscow  
2021

УДК 00, 1, 33, 34, 36, 37,39, 50, 51, 57, 60, 61, 62, 63, 67, 68, 7  
ББК 1  
А28

Advances in Science and Technology  
A28 Сборник статей XL международной научно-практической конференции  
Москва: «Научно-издательский центр «Актуальность.РФ», 2021. – 172 с.  
ISBN 978-5-6046749-8-7

Книга представляет собой сборник статей XL международной научно-практической конференции «Advances in Science and Technology» (Москва, 31 октября 2021 г.). Представленные доклады отражают наиболее значительные достижения в области теоретической и прикладной науки. Книга рекомендована специалистам, преподавателям и студентам.

Сборник рецензируется членами оргкомитета. Издание включено в Elibrary согласно лицензионному договору 930-03/2015К.

**Организатор конференции:**

Научно-издательский центр «Актуальность.РФ»

**При информационной поддержке:**

Пензенского государственного университета

Федерального государственного унитарного предприятия «Информационное  
телеграфное агентство России (ИТАР-ТАСС)»

Федерального государственного бюджетного учреждения науки

«Российская книжная палата»

Научной электронной библиотеки eLIBRARY.RU

Московского государственного университета им. М. В. Ломоносова

ISBN 978-5-6046749-8-7

© ООО «Актуальность.РФ»

## МЕТОДЫ ФОРМИРОВАНИЯ ПУЧКОВ ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ БОЛЬШОГО СЕЧЕНИЯ

<sup>1</sup>Солдатенко П.Н., <sup>1</sup>Голубев Ю.П., <sup>2</sup>Антонович Д.А.

<sup>1</sup>Полоцкий государственный университет, г. Новополоцк, Беларусь

<sup>2</sup>Витебский государственный университет им. П.М. Машерова, г. Витебск, Беларусь

*Повышение эффективности и качества электронно-лучевой обработки поверхности материалов, является одним из важных вопросов в процессе разработки технологического оборудования. Для решения данной задачи предполагается использование электронно-лучевого ассистирования, подразумевающего попеременное или одновременное воздействие пучками заряженных частиц обоих типов на обрабатываемую поверхность. В данной работе рассмотрен метод, способный обеспечивать такое воздействие.*

*Ключевые слова:* электронно-лучевая обработка, плазма, плазменный эмиттер, мультиразрядная панель.

Развитие теории и практики формирования пучков большого сечения связано с перспективностью их использования для поверхностной обработки материалов. Такая обработка пучками в вакууме и остаточной атмосфере различных газов используется в плазмохимических технологиях, термической обработке различных материалов, нанесении покрытий и т.д. В ряде случаев значительное повышение качества таких технологий и производительности технологического оборудования предусматривает одновременное воздействие электронного и ионного пучков. В данный момент такая технология обычно обеспечивается использованием отдельных электронного и ионного источников. При этом наиболее широкое применение для формирования плазменных поверхностей, эмитирующих ионные или электронные пучки, получили газоразрядные электродные структуры, в которых возбуждаются магнетронные разряды [1; 2], или разряды с осцилляцией электронов «пеннинговского» типа (PIG) [3], или с полым катодом [4; 5]. В технологически необходимых условиях низкого давления газа для снижения напряжения разряда и плотности эмитирующей плазмы в газоразрядных структурах используются термокатоды [6]. Существенным недостатком подобных источников является их недолговечность в газовых разрядах.

В названных выше источниках, эмитирующая плазма отделена от электродов газоразрядной структуры пристеночными электрическими слоями, параметры которых определяются разностью потенциалов между плазмой и каждым электродом, а также плотностью плазмы, как принято в настоящее время, по условию равенства нулю напряженности электрического поля на ее границе [7]. Эмитирующая поверхность плазмы также подчиняется этому условию [8], поэтому электронно- (ионно-) оптические условия в промежутке ускорения электронов (ионов) и формирование пучка зависят от положения и формы эмитирующей границы плазмы, т.е. от ускоряющего напряжения, геометрии электродов и их потенциала. Это создает определенные трудности формирования пучков большого сечения [9].

В то же время эффективность применения плазменных источников в технологических приложениях обусловлена достижением в этих источниках необходимых параметров самого пучка, это прежде всего энергия ионов и электронов, поверхностная плотность тока в пучке, распределение плотности тока по сечению пучка. Неоднородность распределения плотности тока по сечению ионно-электронного пучка приведет к неравномерной обработке поверхности материала, поэтому достижение однородного распределения плотности тока пучка представляется важной задачей.

Известный эффект возможного формирования вторичной плазмы в ускоряющем промежутке [10] может обеспечить значительное улучшение эмиссионно-оптических свойств источника с плазменным эмиттером: уменьшение расходимости пучка за счет снижения

радиального градиента потенциала в ускоряющем промежутке; повышение эмиссионного тока за счет обратного потока зарядов из вторичной плазмы в эмитирующую плазму [11]; повышение первенса ускоряющей системы за счет частичной компенсации объемного заряда пучка.

Также известны работы по электронно-лучевой обработке поверхностей при воздействии на диэлектрические материалы, в которых изучены особенности влияния поверхностного заряда, вносимого электронным пучком на поверхность. Показано, что этот заряд эффективно «снимается» вторичной плазмой электронного пучка. Однако не изучены особенности формирования «плазменного одеяла» над обрабатываемой поверхностью большой площади при воздействии ионно-электронными пучками. Изучение поведения и параметров плазмы у поверхности в зависимости от тока пучка, энергии заряженных частиц и давления газа позволит определить и оптимизировать параметры мультиразрядной системы, создаваемой для обработки больших поверхностей.

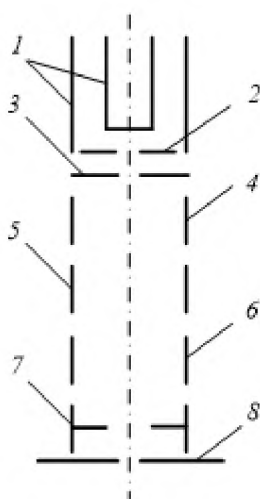
Изложенное выше позволяет предполагать:

1) возможность создания плазменного объекта с электростатическими слоями в нем, способного обеспечить формирование совмещенных в едином пространстве ионного и электронного пучков;

2) многофакторность такой структуры и отсутствие необходимых алгоритмов затрудняет в настоящее время численное моделирование таких структур;

3) экспериментальное исследование подобных структур на данном этапе представляется наиболее эффективным для создания технологических источников совмещенных ионно-электронных пучков.

Схематически электродная структура экспериментального источника показана на рисунке 1. В объеме, ограниченном электродами 1 (катод) и электродом 2 (анод), возбуждается разряд с осцилляцией электронов [12; 13], из плазмы которого электродом 3 обеспечивается эмиссия и ускорение электронов. Электроды 3–7 образуют газоразрядную структуру, формирующую плазму, являющуюся источником распыляющих ионов. Эта структура состоит из двух соединенных последовательно (вдоль оси) газоразрядных ячеек ПИГ-типа. Элементы 4 и 6 этой структуры являются анодами разрядных ячеек; элементы 3, 5 и 7 – катодами. Между электродами 7 и 8 прикладывается напряжение, ускоряющее ионы до требуемой технологией энергии распыляющих ионов. В тоже время в этом промежутке (между электродами 7 и 8) осуществляется торможение пучка электронов, ускоренных между электродами 2 и 3.



1, 5, 7 – катоды; 2, 4, 6 – аноды; 3 - электрод ускоряющий (электроны); 8 – электрод ускоряющий (ионы)

Рисунок 1 – Схематическая электродная структура мультиразрядной системы

Закключение. Предложенная концепция источника показывает возможность создания мультиразрядных панелей позволяющих решать актуальные задачи формирования технологически совмещенных электронных и ионных пучков для реализации электронно-лучевого ассистирования плазмохимическим процессам или комбинированного воздействия электронными и ионными пучками. Такого типа источники могут стать уникальным универсальным инструментом для нанесения пленочных покрытий различного назначения. Подобные системы могут представлять интерес как в качестве отдельных источников, так и в качестве ячеек мультиразрядного источника для формирования воздействия на большие площади.

#### *Список источников*

1. Барченко В.Т. Физика и технология плазменных эмиссионных систем / В.Т. Барченко. СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2014. 286 с.
2. Кузьмичёв А. И. Магнетронные распылительные системы. Кн. 1. Введение в физику и технику магнетронного распыления / А.И. Кузьмичёв. Киев: Аверс, 2008. 244 с.
3. Penning FM. Coating by Cathode Disintegration. US Patent 2,146,025; N.V. Philips, Gloeilampenfabrieken, Eindhoven, The Netherlands; 1939
4. Москалев Б.И. Разряд с полым катодом / Б.И. Москалёв. М.: Энергия, 1969. 184 с.
5. Крейндель Ю.Е. Плазменные источники электронов / Ю.Е. Крейндель. М.: Атомиздат, 1977. 145 с.
6. Алямовский, И.В. Электронные пучки и электронные пушки / И.В. Алямовский. М.: Советское Радио, 1966. 454 с.
7. Груздев В.А., Залесский В.Г. О механизме возникновения электрического поля в плазме при эмиссии электронов // Вестник Полоц. гос. ун-та. Сер. С, Фундаментальные науки. 2014. № 4. С. 103–108.
8. Груздев В.А., Залесский В.Г. Формирование эмиссионного тока в плазменных эмиттерах электронов. // Прикладная физика. 2009. № 5. С. 82–90.
9. Gruzdev V.A., Zaleski V.G. Electron-optical characteristics of the beam generated by the electron plasma sources // Electrotechnica and electronica (Bulgaria). 2014. V. 49, № 5-6. P. 264–268.
10. Gruzdev V.A., Zaleski V.G. Emission current formation in plasma electron emitters // Plasma Physics Reports. 2010. №36. p. 1191-1198
11. Залесский В. Г. Эмиссионные и электронно-оптические системы плазменных источников электронов: дис. ... д-ра физ.-мат. наук: 01.04.04 / В. Г. Залесский. Минск, 2015. 316 с.
12. Gruzdev V.A., Zaleski V.G., Antonovich D.A., Golubev Y.P. Universal plasma electron source // Vacuum. 2005. №77. p. 399-405.
13. Zaleski V.G., Antonovich D.A. Peculiarities of plasma electron sources operation at high pressures // Journal of Physics D: Applied Physics. 2007. №40. p.7771-7777.

#### **METHODS OF FORMING CHARGED PARTICLE BEAMS OF LARGE CROSS SECTION**

**<sup>1</sup>Pavel Soldatenko, <sup>1</sup>Yury Golubev, <sup>2</sup>Dmitry Antonovich**

<sup>1</sup>Polotsk State University, Novopolotsk, Belarus

<sup>2</sup>Vitebsk State University named after P.M. Masherov, Vitebsk, Belarus

*Improving the efficiency and quality of electron-beam surface treatment of materials is one of the important issues in the process of developing technological equipment. To solve this problem, it is proposed to use electron-beam assistance, which implies alternating or simultaneous exposure to beams of charged particles of both types on the treated surface. In this paper, we consider a method capable of providing such an impact.*

*Keywords: electron beam processing, plasma, plasma emitter, multi-discharge panel.*