

## К ВОПРОСУ ФОРМИРОВАНИЯ ДВОЙНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЛОЕВ В ПЛАЗМЕ ГАЗОВОГО РАЗРЯДА

*Д.А. Антонович, Д.В. Бирюкова  
Витебск, ВГУ имени П.М. Машерова*

В связи с расширением области применения плазмохимических технологий [1] в настоящее время, интерес к получению низкоэнергетичных пучков заряженных частиц с энергией до 5 кэВ достаточно высок. Подобные технологии, как правило, сопровождаются интенсивным газоотделением и предполагают воздействие на поверхности большой площади с высокой степенью однородности энерговклада в изделие [2]. Поэтому реализация подобных технологий с помощью низкоэнергетичных плазменных источников представляется наиболее эффективной, а в ряде случаев единственно возможной [2].

При формировании низкоэнергетичных электронных пучков более существенное, в сравнении с высокоэнергетичными источниками, влияние оказывают накопительные ионизационные эффекты в ускоряющей промежутке, поскольку область интенсивной ионизации оказывается значительно шире, а эффективность потерь энергии выше. Что может приводить, к изменению (в том числе ухудшению) технологических параметров (стабильность эмиссии, плотность мощности) формируемых пучков заряженных частиц. Одним из перспективных направлений улучшения технологических параметров формируемых пучков заряженных частиц представляется возможность формирования двойных электрических слоев в плазме и ускорение в них зарядов. При этом, для сокращения объема экспериментальных работ при проектировании целесообразно применять компьютерное моделирование процессов в разрабатываемых конструкциях. Существующее на сегодняшний день программное обеспечение не позволяет в полной мере осуществлять такое моделирование, поэтому разработка специализированных пакетов прикладных программ, предназначенных для расчета плазменных источников электронов – актуальная задача.

**Результаты и их обсуждение.** Ниже приведены некоторые результаты исследований по формированию слоев в плазме с целью влияния на технологические параметры формируемых пучков, которые будут использованы при разработке модели формирования двойных электрических слоев в плазме газового разряда.

Лабораторная плазма, к которой относится плазма газовых разрядов, формируемая специально в электродных разрядных структурах плазменных источников электронов и используемая в качестве плазменного эмиттера, а также плазма, образуемая в разрядной промежутке, в электронно-оптической системе или у обрабатываемой поверхности при воздействии потоками заряженных частиц, относится к электрон-ионной плазме и представляет собой частично ионизованный газ.

Как показано в [3] двойной слой представляет собой некий локализованный скачок потенциала, не связанный ни с какими границами (электродами, стенками). Для образования такого скачка потенциала в плазме должны существовать разделенные области положительного и отрицательного зарядов. При этом больший интерес представляет изучение возможности образования двойных электростатических слоёв в эмитирующей плазме, формируемой в электродных структурах плазменных источников заряженных частиц и во вторичной плазме при давлениях в области транспортировки пучков заряженных частиц, близких к форвакууму, а также в плазме, образующейся при реализации технологических плазмохимических процессов.

В работе [4] рассмотрена модель переходной области между квазинейтральной плазмой и плоским отрицательным электродом при двух видах распределения электронного компонента плазмы по скоростям: в виде суммы двух максвелловских распределений с различными температурами и в виде суммы максвелловского распределения и направленного в сторону электрода потока. Получены критерии образования слоя положительного объемного заряда и вторичной плазмы, отделенной от основной плазмы двойным электрическим слоем. Это означает, что данный эффект необходимо учитывать к практике разработки новых конструкций источников заряженных частиц, так как в работе показано, что он возникает в условиях наличия направленного в сторону электрода потока частиц. В работе [5] исследованы условия образования анодных двойных слоёв вблизи положительного (относительно плазмы) дискового электрода,

помещённого в частично ионизованную плазму. Двойные слои были непосредственно измерены при помощи электростатических зондов. В работе [6] рассмотрена задача моделирования формирования двойного электрического слоя в диоде, заполненном гелиевой или аргонной плазмой низкой плотности. Представленные результаты указывают на возможность возбуждения взрывной электронной эмиссии на катоде при относительно низких ускоряющих напряжениях и сравнительно невысоких плотностях наполняющей диод гелиевой или аргонной плазмы.

Для сильноточных диодов за счет проникновения электрического поля в плазму происходит ускорение плазменных электронов и ионов, которые движутся в противоположных направлениях. Ионы достаточно быстро уходят к катоду и в результате плотность плазмы вблизи катода понижается. Под действием перепада давления возникает адиабатический поток ионов, который и формирует профиль плотности плазмы на переднем фронте проникновения поля. При этом одновременно происходит перераспределение потенциала в диоде. Все электрическое поле концентрируется в прикатодном двойном слое, размеры которого значительно меньше диодного промежутка. Результатом этого является резкое повышение напряженности электрического поля на катоде (обычно выше 100 кВ/см), достаточное для возбуждения электронной взрывной эмиссии с катода. Для повышения эффективности генерации заряженных частиц в электродных структурах источников ионов в работе [7] исследуется применение контрагирования разряда отверстием в промежуточном электроде. Это позволяет разделить область интенсивной генерации плазмы с более высоким давлением и область формирования эмиссионной поверхности с низким давлением. Двойной электрический слой, образующийся в такой электродной структуре, создает ускоренные в противоположные стороны потоки электронов и ионов, показана схема источника ионов с разделением разряда на три части, сообщающиеся между собой через контрагирующие отверстия с образованием двойных электрических слоёв в каждом из них, что позволило при том же токе разряда удвоить ток эмиссии ионов.

**Заключение.** Таким образом, использование возникающих двойных электростатических слоёв в некоторых типах разрядов при генерации эмитирующей плазмы является перспективным направлением совершенствования и разработки новых более эффективных конструкций плазменных источников заряженных частиц.

1. Окс Е. М. Источники электронов с плазменным катодом: физика, техника, применения – Томск: Изд-во НТЛ, 2005. – 216 с.
2. Физика и технология плазменных эмиссионных систем / под общ. ред. В. Т. Барченко. СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2014. 286 с.
3. Альтеркоп, Б.А. Двойной заряженный слой на границе между стенкой и симметричной плазмой / Б.А. Альтеркоп, И.Д. Дубинова, А.Е. Дубинов // ЖТФ. – 2007. – Т. 77, вып. 7. – С. 63–69.
4. Мартенс, В.Я. Переходная область между неравновесной плазмой и отрицательным электродом / В.Я. Мартенс // ЖТФ. – 2002. – Т. 72, вып. 10. – С. 45–52.
5. Baalrud, S.D. Equilibrium states of anodic double layers / S. D. Baalrud, B. Longmier, and N. Hershkowitz // Plasma Sources Science Technology. – 2009. – № 18(3):035002.
6. Григорьев, В.П. Моделирование двойного электрического слоя в диоде, заполненном плазмой инертных газов / В.П. Григорьев, Е.С. Вагин, В.В. Офицеров // Изв. Томского политехнического университета. – 2008. – Т. 313, № 2. – С. 67–69.
7. Никитинский, В.А. Технологические источники ионов на основе контрагированных разрядов / В.А. Никитинский, Б.И. Журавлев // Технология и конструирование в электронной аппаратуре. – 2006. – № 4. – С. 55–58.

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПЕРИФЕРИЙНЫХ УСТРОЙСТВ В РАБОТЕ ДЕМОНСТРАЦИОННО-УЧЕБНОГО РОБОТА-МАНИПУЛЯТОРА**

*Д.В. Бирюкова, Л.В. Маркова, А.В. Шидловский  
Витебск, ВГУ имени П.М. Машерова*

На сегодняшний день повсеместно наблюдается автоматизация процессов в различных сферах нашей жизни. Современные системы автоматизации многокомпонентны и многогранны, они включают в себя сенсоры, устройства ввода вывода, управляющие и исполнительные устройства, компьютеры, сервера и так далее. Важное место среди этих систем занимают робототехнические устройства, в которых выделяется отдельный класс устройств - роботы манипуляторы. Робот-манипулятор представляет собой высокопроизводительную автоматизированную систему, которая функционирует с помощью электронной платформы управления и программного обеспечения. В свою очередь, электронная платформа робота манипулятора неодно-