

УДК 537.533:621.3.032.26

Д.А. Антонович, Д.В. Шидловская

*Витебский государственный университет им. П.М. Машерова,
г. Витебск, Беларусь*

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ФОРМИРОВАНИЯ НИЗКОЭНЕРГЕТИЧНЫХ ИОННО-ЭЛЕКТРОННЫХ ПУЧКОВ В ИСТОЧНИКАХ С ПЛАЗМЕННЫМ ЭМИТТЕРОМ

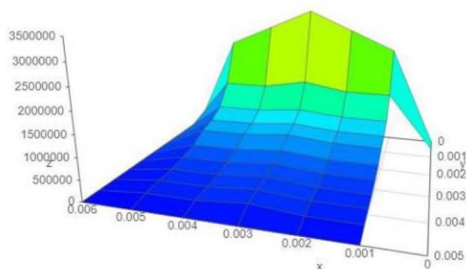
В связи с расширением области применения плазмохимических технологий, таких как ионно-плазменное азотирование, электронно-лучевое диспергирование и др., интерес к получению низкоэнергетичных пучков заряженных частиц с энергией до 5 кэВ достаточно высок [1; 2]. Подобные технологии, как правило, сопровождаются достаточно интенсивным газоотделением и предполагают воздействие на поверхности достаточно большой площади с высокой степенью однородности энерговклада в изделие. Поэтому реализация подобных технологий с помощью низкоэнергетичных плазменных источников представляется наиболее эффективной, а в ряде случаев единственно возможной. Способность плазменных источников заряженных частиц, формировать как электронные, так и ионные пучки делает их уникальным универсальным инструментом, и перспективными к разработке на их основе технологий нанесения пленок и покрытий различного назначения методами попеременного или одновременного теплофизического электронного и модифицирующего ионного воздействия.

К настоящему времени конструктивные особенности и особенности формирования пучков при ускоряющих напряжениях до 5кВ изучены недостаточно. При формировании низкоэнергетичных электронных пучков более существенное, в сравнении с высокоэнергетичными источниками, влияние оказывают накопительные ионизационные эффекты в ускоряющем промежутке, поскольку область интенсивной ионизации оказывается значительно шире, а эффективность потерь энергии выше. Что может приводить, к 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. Построение адекватных физико-математических моделей процессов формирования низкоэнергетичных ионно-электронных пучков в источниках заряженных частиц с плазменным эмиттером и разработка эффективных алгоритмов компьютерного моделирования позволит уменьшить объем экспериментальных работ по разработке конструкций низкоэнергетичных источников заряженных частиц с плазменным эмиттером.

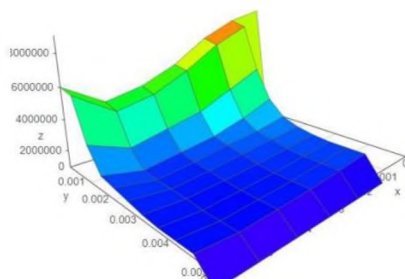
В результате проделанной работы было показано [3], что одним из возможных способов формирования совмещённых пучков ионов и электронов в плазменных источниках заряженных частиц, является создание такой газоразрядной структуры, в плазме которой формируется два последовательно расположенных электрических слоя. Одним из слоёв обеспечивается поток зарядов (ионов или электронов) в другой электрический слой, который обеспечивает поток зарядов другого типа в том же направлении, что и поток зарядов из первоначального слоя и одновременно является «прозрачным» для потока зарядов из первого электрического слоя.

Для предложенной конструкции была разработана физико-математическая модель и на ее основе программа расчёта, позволяющая осуществлять предварительное моделирование параметров формируемых пучков заряженных частиц, в зависимости от конструктивных особенностей ускоряющего промежутка источ-

ника, что позволяет спрогнозировать ожидаемые параметры формируемых пучков заряженных частиц и упрощает конструирование новых аналогичных систем с плазменным эмиттером. Разработанная программа, позволяет расчет указанных параметров в автоматическом режиме для различных входных значений из «типичного» диапазона входных значений. Разработан графический интерфейс для пользователя программы, а результаты моделирования представляются в виде трехмерных зависимостей, примеры которых представлены на рисунке.



а)



б)

Примеры визуализации рассчитанных параметров:
а – концентрация; б – скорость эмитируемых электронов

Литература

1. Барченко В.Т. Плазменные эмиссионные системы с ненакаливаемыми катодами для ионно-плазменных технологий. – СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2011. – 220 с.
2. Antonovich D.A., Gruzdev V.A., Zalesski V.G., Pobol I.L., Soldatenko P.N. Plasma emission systems for electron and ion-beams technologies // High

- Temperature Material Processes (An International Quarterly of High-Technology Plasma Processes). – 2017. – Vol. 21, iss. 2. – P. 143–159.
3. *Груздев В.А., Антонович Д.А., Залесский В.Г., Голубев Ю.П., Солдатенко П.Н.* Плазменный источник электронно-ионных пучков: пат. на изобретение 23743 Респ. Беларусь МПК Н 01J 37/30 «Плазменный источник электронно-ионных пучков» // Афіцыйны бюлетэнь / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2022. – № 3 (146). – С. 65.