

ФИЗИКА

УДК 537.533.3; 621.3.032.26

МОДЕЛИРОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ ФОРМИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОННОГО ПУЧКА ФОРВАКУУМНЫМ ПЛАЗМЕННЫМ ИСТОЧНИКОМ

канд. техн. наук **О.Н. ПЕТРОВИЧ**; **И.С. РУСЕЦКИЙ**
(Полоцкий государственный университет)

Исследуется влияние ионизационных процессов на характеристики пучка и свойства электронно-оптической системы. Проведено численное моделирование процессов формирования электронного пучка форвакуумным плазменным источником с использованием пакета прикладных программ ELIS. Установлен механизм обратной связи между плазменным эмиттером и электронно-оптической системой ускорения и формирования пучка, обусловленный эволюцией вторичного плазменного образования.

Введение. Электронно-лучевые технологии занимают одно из ведущих мест в ряду современных ресурсо- и энергосберегающих технологий, так как позволяют реализовать широкий спектр термического воздействия на материалы. Для сокращения объема экспериментальных работ при проектировании современных технологических электронно-лучевых установок и оптимизации конструкций источников заряженных частиц в настоящее время широко применяется компьютерное моделирование. Развитие компьютерной техники стимулировало разработку методов и алгоритмов численного моделирования и, как следствие, создание пакетов прикладных программ [1–5].

Разработанный ранее пакет прикладных программ ELIS [6] предназначен для проведения численных экспериментов с целью выявления основных физических принципов формирования электронных пучков с заданными характеристиками и сравнительного анализа влияния различных физических условий и процессов на электронно-оптические свойства источника электронов.

Методика численного анализа и разработанные алгоритмы моделирования положения и формы эмиттирующей поверхности, ионизационных процессов, динамики электронно-оптических свойств источника электронов с плазменным эмиттером [7; 8], которые легли в основу пакета ELIS, позволили дать теоретическое обоснование экспериментально обнаруженным особенностям и установить нелинейные свойства систем формирования остросфокусированного электронного пучка в форвакуумной области давлений. Результаты данного исследования изложены в настоящей работе.

Результаты численного анализа процессов формирования электронного пучка

Модель электронно-оптической системы форвакуумного источника электронов с плазменным эмиттером. Форвакуумный плазменный источник электронов можно рассматривать как электронно-оптическую систему (ЭОС) (рис. 1), в которой эмиттером электронов служит газоразрядная плазма, ограниченная эмиттерным электродом с эмиссионным каналом от промежутка формирования и ускорения электронного пучка [9].

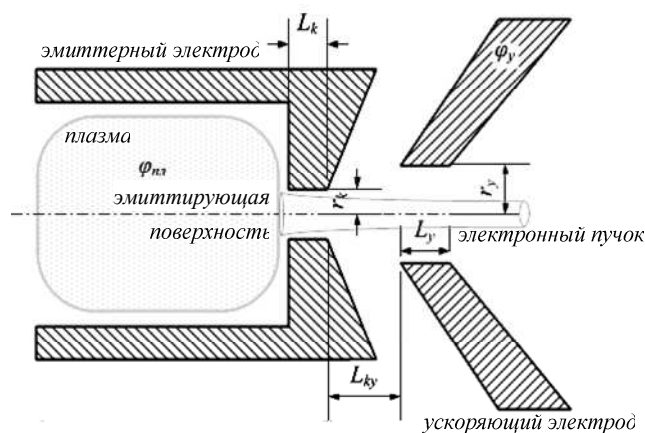


Рис. 1. Электронно-оптическая система источника электронов с плазменным эмиттером

Потенциал эмиттирующей плазмы выше потенциала эмиттерного электрода на величину от единиц до сотен вольт. Эмиссионный канал служит для инжекции электронов из плазмы в область уско-

ряющего поля, а также обеспечивает перепад давлений между пространством ускорения пучка и газоразрядной структурой. Вследствие того, что эмиттерный электрод конструкционно отделяет высоковольтный промежуток ускорения от разрядной камеры, физически функция эмиссионного канала сводится к ограничению проникновения как ускоряющего поля в разрядную камеру, так и эмиттирующей плазмы в ускоряющий промежуток.

В форвакуумной области давлений на формирование электронного пучка существенное воздействие оказывают ионизационные и сопутствующие им процессы, которые с ростом давления в ускоряющем промежутке проявляют свое влияние все в большей степени. В этом случае эмиссионный канал начинает играть роль элемента обратной связи между пространством ускорения пучка и газоразрядной структурой. Механизм обратной связи заключается в следующем. Объемный ионный заряд, образующийся вследствие ионизационных процессов, искажает распределение потенциала, как правило, вблизи границы плазмы, то есть в области эмиссионного канала, где сечение ионизации максимально. Увеличение значений потенциала вблизи границы эмиттирующей плазмы по сравнению со случаем высокого вакуума, во-первых, изменяет положение и форму эмиттирующей поверхности, во-вторых, приводит к возрастанию микропереванса пучка и увеличению эмиссионного тока. Указанные процессы в итоге изменяют характеристики пучка: ток, расходимость, режим движения потока, фазовый портрет пучка. Увеличение эмиссионного тока вызывает возрастание количества образующихся ионов. Накопление ионов ведет как к росту тока эмиссии, так и к увеличению ионного потока, уходящего на стенки эмиссионного канала.

В зависимости от соотношения скоростей генерации и ухода ионов возможно развитие следующих характерных ситуаций:

- установление динамического равновесия (стационарный режим формирования пучка);
- снижение электрической прочности промежутка ускорения (режим пробоя);
- смена процессов генерации и разрушения вторичного плазменного образования в эмиссионном канале (динамический режим).

В первом случае скорость ухода ионов на стенки эмиссионного канала и скорость их генерации выравниваются. В результате это приводит к установлению динамического равновесия ионов в эмиссионном канале и переходу электронно-оптической системы в новый стационарный режим отбора с более высоким коэффициентом переключения.

Во втором – скорость ухода ионов меньше скорости их генерации, что вызывает дальнейшее накопление ионов в эмиссионном канале, рост области с немонокотным распределением потенциала, неограниченное движение эмиттирующей поверхности вглубь канала, а затем и внутрь разрядной камеры. В конечном итоге имеет место неограниченный рост эмиссионного тока и пробой ускоряющего промежутка.

В третьем – скорость ухода ионов в какой-то момент времени становится больше скорости их генерации вследствие ионизационных процессов в эмиссионном канале, что инициирует «рассасывание» ионного объемного заряда и возвращение к ситуации, когда распределение потенциала и положение границы плазмы приближаются к вакуумному случаю. Затем процессы качественно повторяются.

Динамический режим и режим пробоя можно рассматривать как частные случаи нестационарного режима формирования пучка, так как в этих характерных ситуациях ионизационные процессы определяют динамику электронно-оптических свойств форвакуумного источника электронов с плазменным эмиттером со временем.

Критическое давление. Численным моделированием установлено существование критического значения давления $p_{кр}$, выше которого формирование остророфокусированного электронного пучка в форвакуумных источниках электронов с плазменным эмиттером становится нестационарным.

Критические значения давления, найденные численными методами, лежат в диапазоне 0,4...0,8 Па в зависимости от ускоряющего напряжения, концентрации и потенциала плазмы, что хорошо согласуется с экспериментальными данными [10; 11].

Численное моделирование показало, что для эмиттирующей плазмы, имеющей потенциал порядка нескольких десятков вольт, критическое значение давления меньше, чем в случае плазмы с потенциалом, равным сотням вольт, при прочих равных условиях. Это можно объяснить тем, что низкопотенциальная плазма неглубоко проникает в эмиссионный канал со стороны разрядной камеры, протяженность функции сечения ионизации вдоль эмиссионного канала больше, а значит больше и протяженность области, занимаемой ионами внутри канала.

Увеличение критического значения давления с ростом потенциала эмиттирующей плазмы обусловлено также обратной зависимостью эмиссионного тока от потенциала плазмы [12]. Чем меньше потенциал плазмы, тем больше радиус эмиттирующей поверхности и, следовательно, эмиссионный ток при одинаковом значении концентрации плазмы. Это приводит к тому, что область, занимаемая ионами, будет шире по радиальному направлению в этом случае. Следовательно, в случае низкопотенциальной плазмы электронно-оптическая система перейдет в нестационарный режим при меньших значениях давления.

В интервале давлений, ограниченном сверху критическим значением давления, формирование пучка является стационарным, что объясняется монотонным характером распределения потенциала в промежутке ускорения. Следовательно, монотонное распределение потенциала можно расценивать как критерий стационарного режима формирования электронного пучка при повышенном рабочем давлении (рис. 2, а).

При значениях давления выше критического в форвакуумных плазменных источниках электронов характерно развитие следующих процессов. Во-первых, ионный объемный заряд деформирует электрическое поле в ЭОС таким образом, что распределение потенциала в ускоряющем промежутке становится немонотонным (рис. 2, б). Немонотонное распределение потенциала приводит к перераспределению объемных зарядов ионов и парных электронов, что в свою очередь должно вновь исказить распределение потенциала и т.д. Во-вторых, ионный объемный заряд перемещает границу эмиттирующей плазмы по направлению к разрядной камере, что увеличивает кривизну поверхности эмиттера и эмиссионный ток. Рост тока приводит к возрастанию ионизационных эффектов и, как следствие, к большей деформации распределения потенциала, что является причиной дальнейшего перемещения границы плазмы вглубь разрядной камеры.

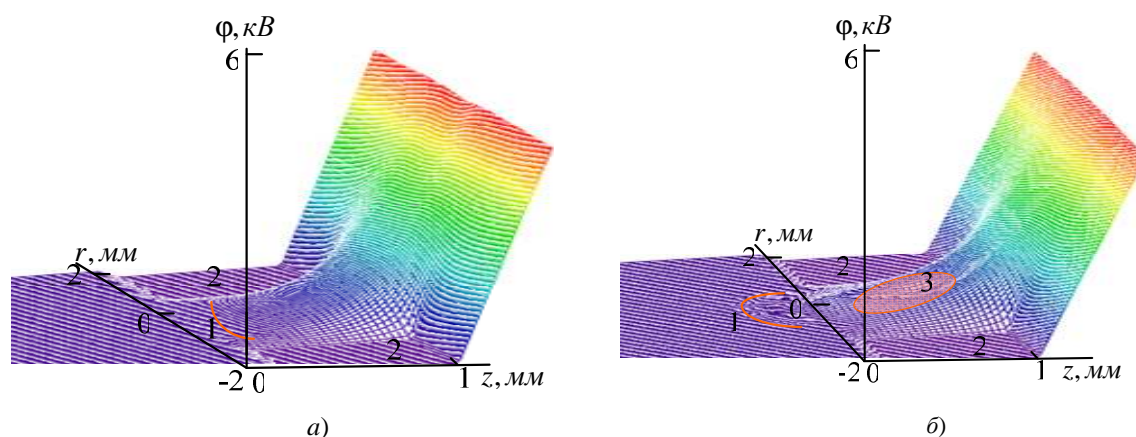


Рис. 2. Распределение потенциала в эмиссионном канале: в стационарном (а) и нестационарном (б) режимах формирования пучка: 1 – эмиттирующая поверхность плазмы; 2 – эмиттерный электрод; 3 – вторичная плазма.
 Концентрация и потенциал плазмы: $n_{и\pm} = 8 \cdot 10^{17} \text{ м}^{-3}$, $\phi_{и\pm} = 200 \text{ В}$;
 ускоряющее напряжение $\phi_y = 30 \text{ кВ}$, давление: а – 0,1 Па, б – 0,7 Па

Таким образом, совокупность всех процессов приводит к динамике характеристик эмиттирующей плазмы и распределения потенциала, что определяет изменение характеристик электронного пучка со временем. Немонотонное распределение потенциала в промежутке ускорения форвакуумного источника электронов с плазменным эмиттером можно рассматривать как критерий перехода к нестационарному режиму формирования пучка, так как именно оно является спусковым механизмом развития нестационарных процессов и динамики параметров ЭОС со временем.

Стационарный режим формирования пучка. Как показало численное моделирование, при значениях давления ниже критического усредненные по времени характеристики электронного пучка и параметры ЭОС остаются постоянными начиная с некоторого момента времени. Таким образом, стационарный режим можно рассматривать как режим установления динамического равновесия. Время перехода к динамическому равновесию сравнимо со временем движения ионов в эмиссионном канале, что позволяет сделать вывод об определяющей роли ионов в установлении стационарного режима. В стационарном режиме после перехода к динамическому равновесию распределение потенциала, распределение ионов, характеристики пучка не изменяются.

Численное моделирование стационарного режима формирования электронного пучка в форвакуумных плазменных источниках электронов показало, что ионизационные процессы, во-первых, приводят к изменению траекторий движения электронов пучка под влиянием кулоновских сил со стороны положительного ионного заряда (табл. 1). Ионный фон частично компенсирует объемный заряд электронного пучка, уменьшая тем самым уширение пучка под действием собственных сил расталкивания. Это влечет за собой компрессию электронного пучка в той области, где сосредоточены ионы, то есть около границы плазмы. Во-вторых, ионизационные процессы оказывают влияние на форму эмиттирующей поверхности плазмы, что также может привести к изменению хода траекторий электронов пучка (табл. 2). При таких значениях давления и параметрах электронно-оптической системы, когда форма плазменного эмиттера остается практически плоской, превалирует компрессия электронного пучка за счет частичной компенсации собственного заряда пучка ионным объемным зарядом ($p = 0,1 \text{ Па}$, см. табл. 1) [13].

Таблица 1

Ионная фокусировка пучка в стационарном режиме форвакуумного плазменного источника электронов

Давление	Диаметр пучка, мм	Максимальная расходимость, мрад	Форма эмиттирующей поверхности
Высокий вакуум	1,6	79	плоская
Давление $p = 0,1$ Па	1,2	59	плоская
Давление $p = 0,4$ Па	1,8	122	плоская
Концентрация и потенциал плазмы: $n_{nl} = 2 \cdot 10^{18} \text{ м}^{-3}$, $\phi_{nl} = 200$ В; ускоряющее напряжение $\phi_y = 20$ кВ; отношение длины к диаметру эмиссионного канала составляет 0,5.			

Таким образом, численные расчеты дают хорошее согласие с экспериментально установленным фактом [14], что ионная фокусировка за счет компенсации объемного заряда электронов пучка объемным ионным зарядом в стационарном режиме формирования пучка позволяет получить более узкий и интенсивный пучок. При дальнейшем повышении давления в ускоряющем промежутке форвакуумного плазменного источника электронов ионные процессы приводят в итоге к увеличению диаметра и расходимости пучка по сравнению со случаем высокого вакуума ($p = 0,4$ Па, см. табл. 1) вследствие перефокусировки пучка ионным объемным зарядом.

Таблица 2

Влияние формы эмиттирующей поверхности на фокусировку пучка в стационарном режиме форвакуумного плазменного источника электронов

Давление	Диаметр пучка, мм	Максимальная расходимость, мрад	Форма эмиттирующей поверхности
Высокий вакуум	95	70	плоская
Давление $p = 0,5$ Па	120	75	плоская
Концентрация и потенциал плазмы: $n_{nl} = 2 \cdot 10^{18} \text{ м}^{-3}$, $\phi_{nl} = 200$ В; ускоряющее напряжение $\phi_y = 20$ кВ; отношение длины к диаметру эмиссионного канала равно 1.			

Зависимости расходимости и диаметра формируемого пучка от величины давления носят немотонный характер, так как на величину расходимости электронного пучка оказывают влияние следующие факторы:

1) компенсация заряда электронов пучка зарядом ионов, возникающих в результате ударной ионизации молекул остаточного газа электронами пучка, что может приводить как к уменьшению расходимости пучка, так и к увеличению расходимости в зависимости от степени компенсации заряда пучка ионным зарядом;

2) смещение эмиттирующей поверхности плазмы вглубь эмиссионного канала и изменение формы плазменного эмиттера вследствие деформации распределения потенциала ионным объемным зарядом (см. табл. 2).

Для каждого значения концентрации эмиттирующей плазмы существует свое значение давления, при котором диаметр и расходимость пучка имеют минимальные значения.

В-третьих, ионизационные процессы ведут к увеличению эмиссионного тока и переходу электронно-оптической системы в новый стационарный режим отбора с более высоким коэффициентом переключения, что обусловлено двумя причинами. В режиме формирования эмиттирующей поверхности плазмы полем пристеночного слоя ток эмиссии с увеличением давления возрастает по причине уменьшения потенциальной ямы у границы плазмы за счет деформации распределения потенциала объемным ионным зарядом. В режиме формирования эмиттирующей поверхности полем ускоряющего электрода ток эмиссии с ростом давления увеличивается благодаря движению границы плазмы вглубь канала, что приводит к росту её концентрации (см. табл. 2).

Нестационарный режим формирования пучка. Как указывалось выше, деформация распределения потенциала вызывает изменение положения и формы эмиттирующей поверхности плазмы. Это влечет за собой формирование плазменной поверхности результирующим полем ускоряющего электрода, пристеночного слоя и объемного ионного заряда.

Эмиттирующая поверхность в нестационарном режиме, как показало компьютерное моделирование, формируется полем ионного объемного заряда, максимум которого находится вблизи границы эмиттирующей плазмы. Поэтому ее расположение и форма нестабильны, что обусловлено соотношением скоростей генерации и ухода ионов в данный момент времени.

Положение плазменной границы задает плотность эмиссионного тока, а ее форма определяет площадь сбора электронов, что влияет на значение эмиссионного тока и, как следствие, тока пучка. Форма поверхности эмиттера определяет, в том числе, форму пучка и его расходимость. Нестабильность расположения и формы поверхности эмиттирующей плазмы вызывает динамику характеристик пучка с течением времени. При движении границы плазмы внутрь разрядной камеры кривизна эмиттирующей поверхности увеличивается, вследствие чего происходит формирование неламинарных пучков с кроссовером, расположенным внутри эмиссионного канала (рис. 3). С одной стороны, это увеличивает расходимость пучка, с другой – может вызывать замыкание части эмиссионного тока на поверхность ускоряющего электрода.

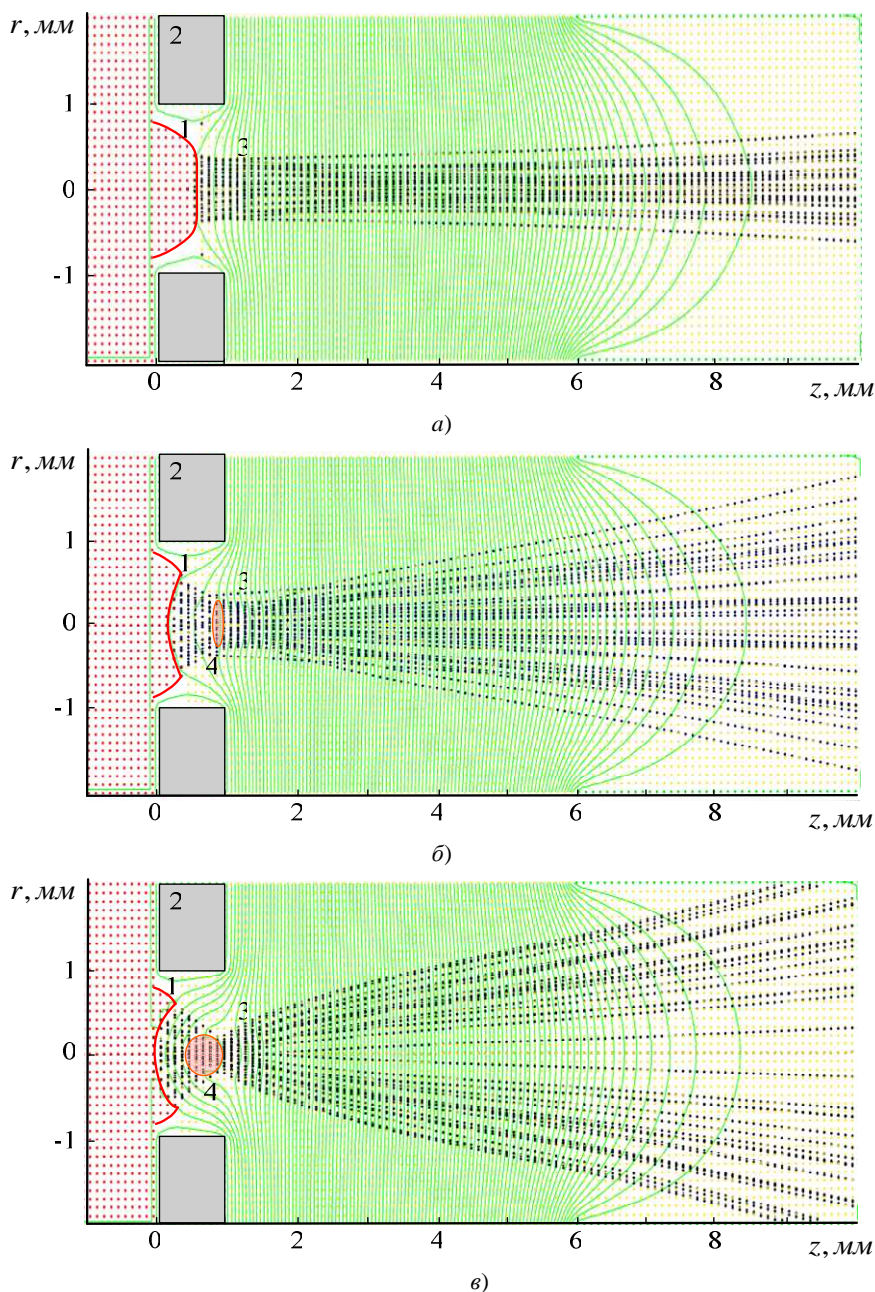


Рис. 3. Влияние эволюции вторичной плазмы на динамику электронно-оптических свойств форвакуумного плазменного источника электронов в нестационарном режиме:
 а – вакуумный режим; б, в – давление 0,5 Па; б – $t = 1,76 \cdot 10^{-7}$ с; в – $t = 2,00 \cdot 10^{-7}$ с;
 1 – эмиттирующая поверхность плазмы; 2 – эмиттерный электрод; 3 – траектории электронов пучка; 4 – вторичная плазма.
 Концентрация и потенциал плазмы: $n_{pl} = 8 \cdot 10^{17} \text{ м}^{-3}$, $\phi_{pl} = 200 \text{ В}$; ускоряющее напряжение $\phi_y = 10 \text{ кВ}$

Результаты численного моделирования форвакуумного плазменного источника электронов при давлении выше критического показали, что в электронно-оптической системе формирования острого фокуса

ванных пучков характерно образование низкопотенциальной вторичной плазмы (см. рис. 3) внутри эмиссионного канала, которая представляет собой плазменную линзу, фокусирующую электроны пучка (см. рис. 3). Потенциал вторичной плазмы выше потенциала эмиттирующей плазмы и составляет сотни вольт. Потенциал $\varphi_{\text{вн}}$ и положение $z_{\text{вн}}$ вторичной плазмы с течением времени изменяются. Например, при концентрации $n_{\text{вн}} = 8 \cdot 10^{17} \text{ м}^{-3}$ и потенциале $\varphi_{\text{вн}} = 200 \text{ В}$ эмиттирующей плазмы в ЭОС с приведенной напряженностью ускоряющего поля 2 кВ/мм при давлении $0,5 \text{ Па}$ в момент времени $t = 1,76 \cdot 10^{-7} \text{ с}$ потенциал и положение вторичной плазмы составляют: $\varphi_{\text{вн}} \approx 700 \text{ В}$, $z_{\text{вн}} \approx 1 \text{ мм}$; при $t = 2,00 \cdot 10^{-7} \text{ с}$ – $\varphi_{\text{вн}} \approx 500 \text{ В}$, $z_{\text{вн}} \approx 0,6 \text{ мм}$.

Установлено, что образование и динамика вторичной плазмы определяет эволюцию характеристик электронного пучка и ЭОС со временем вследствие влияния поля ионного объемного заряда на положение и форму эмиттирующей поверхности (см. рис. 3) и, как следствие, на характер движения потока электронов, перванс и эмиттанс пучка. В режиме образования вторичной плазмы характер движения электронов пучка становится неламинарным.

Численное моделирование позволило установить суть механизма обратной связи между электронно-оптической системой формирования острого фокусированного пучка и газоразрядной структурой в форвакуумных плазменных источниках в нестационарном режиме.

Определяющую роль в установлении обратной связи играет эволюция вторичной плазмы в эмиссионном канале, которая может развиваться по двум сценариям:

1) перемещение вторичной плазмы по направлению к разрядной камере, сопровождающееся движением эмиттирующей поверхности вглубь канала и ростом эмиссионного тока (см. рис. 3). В этом случае движение вторичной плазмы по направлению к разрядной камере и рост эмиссионного тока могут приводить к снижению электрической прочности промежутка ускорения ЭОС. Резкое увеличение эмиссионного тока усиливает процессы ионизации, что приводит к расширению области, занятой вторичной плазмой. Как следует из численных расчетов, концентрация вторичной плазмы сравнима с концентрацией эмиттирующей газоразрядной плазмы. В результате электронный ток, пропускаемый ускоряющим промежутком, складывается из тока, эмиттированного плазмой газового разряда и вторичной плазмой. Увеличение потока электронов через ускоряющий промежуток в совокупности с неламинарным характером движения электронов приводит в итоге к снижению электрической прочности ускоряющего промежутка;

2) смена процессов генерации и разрушения вторичной плазмы, сопровождающаяся изменением характеристик пучка со временем. В этом случае на зависимости тока пучка от времени будут наблюдаться пульсации (рис. 4), которые подтверждают предположение о роли эволюции вторичной плазмы в установлении обратной связи между промежутком ускорения пучка и эмиттирующей плазмой газового разряда.

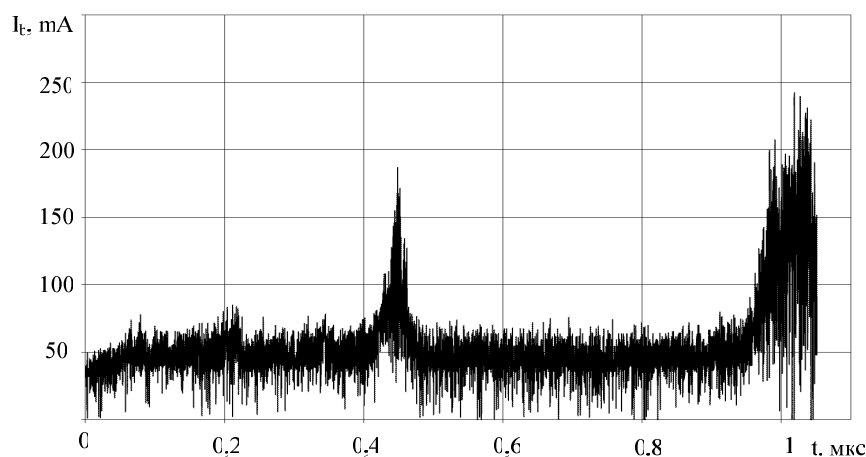


Рис. 4. Зависимость тока пучка от времени
Концентрация и потенциал плазмы: $n_{\text{вн}} = 2 \cdot 10^{18} \text{ м}^{-3}$, $\varphi_{\text{вн}} = 150 \text{ В}$;
приведенная напряженность ускоряющего поля 4 кВ/мм ; давление 1 Па

Таким образом, при значениях давления выше критического форвакуумный плазменный источник электронов представляет собой нелинейную электронно-оптическую систему с обратной связью, обусловленной эволюцией вторичной плазмы.

Заключение. Численным моделированием процессов в форвакуумном плазменном источнике с использованием пакета прикладных программ ELIS установлен критерий перехода к нестационарному

режиму формирования электронного пучка, связанный с немонотонным распределением потенциала в эмиссионном канале. Исследовано влияние ионизационных процессов на характеристики пучка и свойства электронно-оптической системы. Выявлена определяющая роль эволюции вторичной плазмы в установлении обратной связи между плазменным эмиттером и электронно-оптической системой ускорения и формирования пучка. Установлен механизм снижения электрической прочности промежутка ускорения вследствие смещения эмиттирующей поверхности вглубь разрядной камеры под воздействием вторичной плазмы. Показано влияние процессов возникновения и разрушения вторичной плазмы на характерные пульсации тока пучка.

ЛИТЕРАТУРА

1. Boers, J.E. An interactive version of the PBGUNS program for the simulation of axisymmetric and 2-D, electron and ion beams and guns / J.E. Boers // Proceedings of the 1995 PAC. – Dallas TX, 1995. – P. 2312–2313.
2. Tregubov, V.F. Program package TAU. Structure and applications for electron device simulation / V.F. Tregubov, A.V. Tregubov // Proceedings of the 7-th International conference on electron beam technologies. – Varna, Bulgaria, 2003. – P. 39–41.
3. Complete Technology for 3D EM Simulation // CST Computer Simulation Technology AG [Электронный ресурс]. – 2012. – Режим доступа: <http://www.cst.com>. – Дата доступа: 15.12.2012.
4. Журавлева, В.Д. Комплекс программ расчета трехмерных электронно-оптических систем / В.Д. Журавлева, С.О. Семенов // Прикладная физика. – 2006. – № 3. – С. 97–102.
5. Астрелин, В.Т. Особенности решения задач плазменной эмиссионной электроники в пакете прикладных программ POISSON-2 / В.Т. Астрелин // Успехи прикладной физики. – 2013. – Т. 1, № 5. – С. 574–579.
6. Петрович, О.Н. Программный комплекс ELIS для моделирования ЭОС ПИЭЛ / О.Н. Петрович, В.А. Груздев // Прикладная физика. – 2012. – № 2. – С. 79–85.
7. Груздев, В.А. Особенности расчета электронно-оптических систем плазменных источников электронов / В.А. Груздев, О.Н. Петрович // Вестн. Полоц. гос. ун-та. Серия С. Фундаментальные науки. – 2008. – № 3. – С. 2–18.
8. Петрович, О.Н. Метод численного анализа газонаполненных ЭОС с подвижным плазменным катодом / О.Н. Петрович, В.А. Груздев // Труды Междунар. конф. по вычислительной математике, Новосибирск, 21–25 июня 2004 г.: в 2 ч. / ИВМиМГ СО РАН; редкол.: Г.А. Михайлов [и др.]. – Новосибирск, 2004. – Ч. II. – С. 590–595.
9. Плазменные процессы в технологических электронных пушках / М.А. Завьялов [и др.]. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 256 с.
10. Ремпе, Н.Г. Разработка и внедрение электронно-лучевой аппаратуры на основе источников с плазменным эмиттером: дис. ... д-ра техн. наук: 05.27.02 / Н.Г. Ремпе. – Томск, 2002. – 270 л.
11. О предельном рабочем давлении плазменного источника электронов на основе разряда с полым катодом / Ю.А. Бурачевский [и др.] // ЖТФ. – 2001. – Т. 71, № 2. – С. 48–50.
12. Петрович, О.Н. Первичное формирование электронного пучка в плазменных источниках с катодным или анодным эмиттерным электродом / О.Н. Петрович // Взаимодействие излучений с твердым телом: материалы V Междунар. конф.; под ред. В.М. Анищика [и др.]. – Минск, 2003. – С. 383–386.
13. Петрович, О.Н. К вопросу о влиянии давления на характеристики электронного пучка / О.Н. Петрович // Проблемы проектирования и производства радиоэлектронных средств: материалы II Междунар. науч.-техн. конф.: в 2 т.; под ред. А.П. Достако. – Новополюк, 2002. – Т. I. – С. 42–44.
14. Акимов, П.И. Некоторые вопросы влияния ионов в высокоперевансных электронно-оптических системах / П.И. Акимов // Проблемы теоретической и прикладной электронной и ионной оптики: тез. докл. IV Всерос. семинара. – М., 1999. – С. 73–74.

Поступила 12.03.2015

**THE SIMULATION OF FEATURES OF THE ELECTRON BEAM FORMATION
BY A FORVACUUM PLASMA SOURCE**

O. PETROVICH, I. RUSETSKII

Computer simulation of electron beam formation processes by a forvacuum plasma source with use of the ELIS program is carried out. The feedback mechanism between the plasma emitter and electron-optical system of acceleration and formation of a beam caused by evolution of secondary plasma is established.