

PACS numbers: 82.33.Xj, 29.25.Ni

РАЗРЯДНАЯ СИСТЕМА С ОСЦИЛЛЯЦИЕЙ ЭЛЕКТРОНОВ В ЭМИССИОННОЙ ОБЛАСТИ ДЛЯ ИСТОЧНИКА ПОЛОЖИТЕЛЬНЫХ ИОНОВ

П.А. Литвинов, В.А. Батурич

Институт прикладной физики НАН Украины,
ул. Петропавловская, 58, 40030, Сумы, Украина
E-mail: baturin@ipflab.sumy.ua

Рассмотрена конструкция разрядной системы с осцилляцией электронов в эмиссионной области для источника положительных ионов. Реализация условий для осцилляции электронов в эмиссионной области электродной системы позволила увеличить энергетическую эффективность тлеющего разряда. Полученные характеристики разряда с осцилляцией электронов в эмиссионной области разрядной камеры позволяют сделать заключение о возможности ее применения в источнике положительных ионов, работающем при низком давлении в разрядной камере.

Ключевые слова: РАЗРЯДНАЯ КАМЕРА, ТЛЕЮЩИЙ РАЗРЯД, ПОЛОЖИТЕЛЬНЫЕ ИОНЫ, ИОННЫЙ ПУЧОК, ИСТОЧНИК ИОНОВ.

(Получено 25.08.2009, в отредактированной форме – 08.09.2009)

1. ВВЕДЕНИЕ

Тлеющие разряды в связи со стабильностью горения при плотностях тока на катод вплоть до десятков А/см², а также простотой их технологической реализации привлекательны для применения в плазменных источниках заряженных частиц. Основная проблема, возникающая при таком применении тлеющих разрядов, заключается в необходимости снижения давления газа в разрядной камере ниже 10 Па для обеспечения электрической прочности ускоряющего промежутка. Решение этой проблемы достигается при использовании специфической формы тлеющего разряда, оптимизированной для генерации отрицательных ионов [1].

Однако радиальное распределение плотности плазмы в эмиссионной области этой разрядной системы специально создавалось таким образом, чтобы минимальная плотность плазмы была на оси. Физические представления о процессах, происходящих в аналогичной разрядной системе, рассмотрены в работе [2], а сама разрядная система схематически представлена на рис. 1. В случае же извлечения из неё положительных ионов такое распределение плотности плазмы не является оптимальным.

2. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Для создания источника положительных ионов разрядная система, ранее разработанная для источника отрицательных ионов, была изменена. В данной работе обсуждаются результаты первых экспериментальных исследований модернизированной электродной системы для генерации положительных ионов. Конструктивная схема этой разрядной системы показана на рис. 2.

Плазма генерируется в двухкамерном (камеры 5 и 6) инверсном газоманетроне, в котором происходит как магнитное, так и электростатическое удержание быстрых электронов.

В результате время пребывания их в камерах магнетрона большое и они успевают произвести достаточное число ионизаций для поддержания разряда. Обе газоразрядные камеры подключены параллельно к одному источнику питания. Разность потенциалов между электродами разрядной системы задаётся при помощи автоматического смещения на сопротивлениях, как показано на рис. 2.

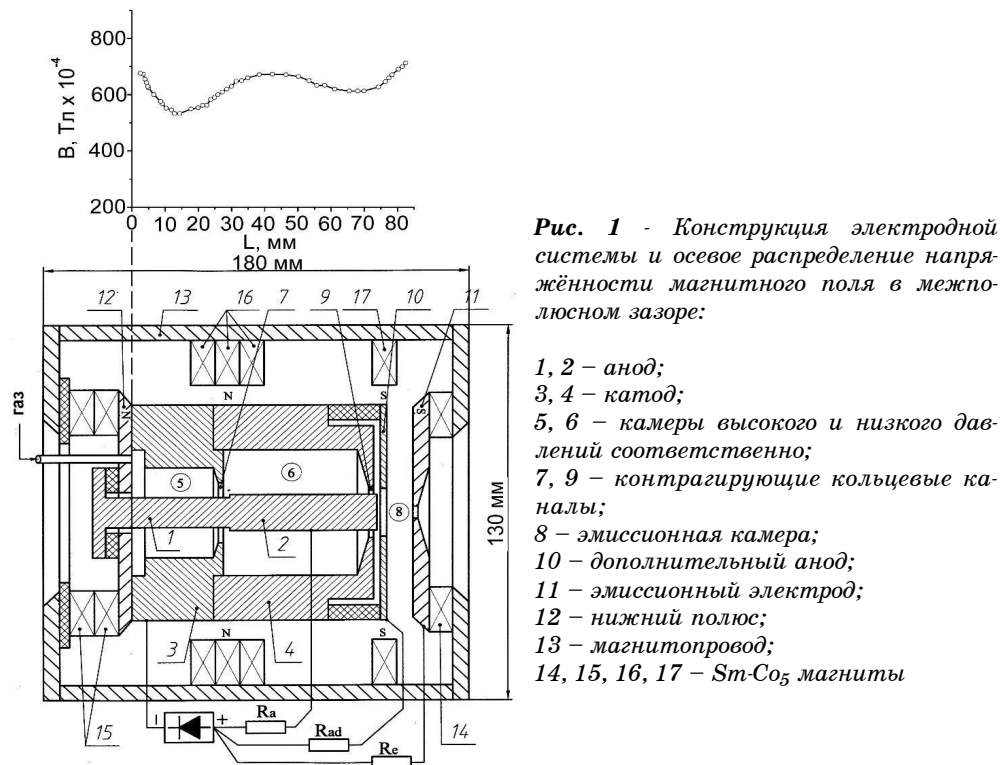


Рис. 1 - Конструкция электродной системы и осевое распределение напряжённости магнитного поля в межэлектродном зазоре:

- 1, 2 – анод;
- 3, 4 – катод;
- 5, 6 – камеры высокого и низкого давлений соответственно;
- 7, 9 – контрагирующие кольцевые каналы;
- 8 – эмиссионная камера;
- 10 – дополнительный анод;
- 11 – эмиссионный электрод;
- 12 – нижний полюс;
- 13 – магнитопровод;
- 14, 15, 16, 17 – Sm-Co_5 магниты

Основные отличия данной электродной системы от используемой нами в источнике отрицательных ионов и описанной в работе [2] заключаются в следующем:

Эмиссионный электрод 11 находится под катодным потенциалом, при этом реализуется режим осцилляции электронов в эмиссионной камере 8, что даёт возможность повысить энергетическую эффективность при извлечении из плазмы положительных ионов.

Геометрия дополнительного анода 10 видоизменена, и в этой конструкции он является основным анодом (ОА) разрядной системы. Известно, что в тлеющих разрядах с осцилляцией электронов имеется группа быстрых электронов, хотя доля их невелика, но именно их вклад в ионизацию является основным [3]. Таким образом, можно ожидать повышения эффективности разряда.

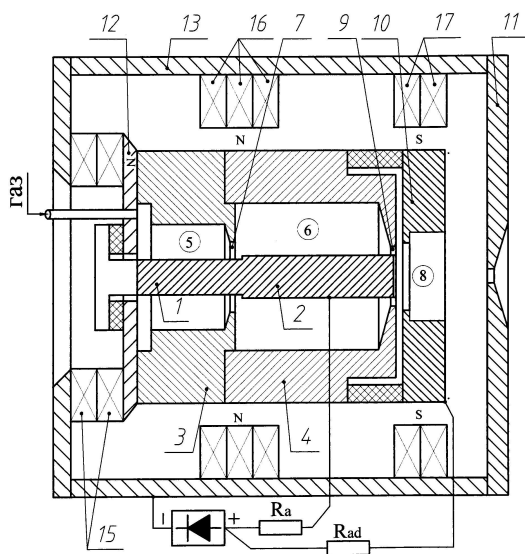


Рис. 2 - Конструкция разрядной системы с осцилляцией электронов в эмиссионной области

На рис. 3 показан график отношения протягиваемого на основной анод тока к общему току разряда $k = I_{0.A.}/I_P$ в зависимости от общего тока разряда I_P для разряда с осцилляцией электронов (рис. 2), а также зависимость отношения протягиваемого на эмиссионный электрод (ЭЭ) тока к общему току разряда $k = I_{Э.Э}/I_P$ в зависимости от I_P для разряда без осцилляции электронов (рис. 1).

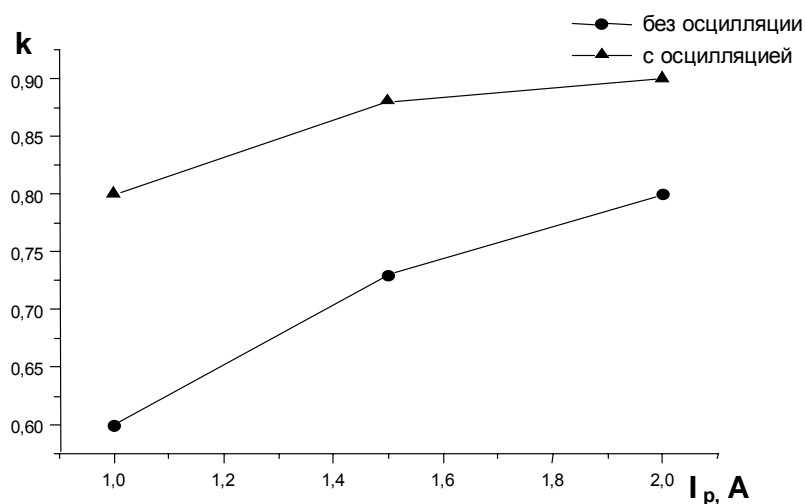


Рис. 3 - Зависимость отношения токов k от общего тока разряда

В обоих случаях рабочее давление составляло $P = 3 \cdot 10^{-2}$ Па. Как видно из графика, разряд в электродной системе с осцилляцией электронов в эмиссионной плазме обладает большей энергетической эффективностью.

В таблице 1 приведены значения величин напряжения на разряде с осцилляцией электронов $U_{осц}$ и без осцилляции $U_{б. осц}$ при двух значениях тока разряда и рабочем давлении в разрядной камере $P = 3 \cdot 10^{-2}$ и $2 \cdot 10^{-2}$ Па.

Таблица 1 – Сравнительные характеристики напряжений на разряде с осцилляцией и без осцилляции электронов

$U_{\text{осц.}}, \text{ В}$	$U_{\text{б. осц.}}, \text{ В}$	$I_{\text{р}}, \text{ А}$	$P, \text{ Па}$
380	405	1	$3 \cdot 10^{-2}$
390	420	1,5	
395	420	1	$2 \cdot 10^{-2}$
410	435	1,5	

Анализ таблицы показывает, что величины падения напряжения на разрядном промежутке в модернизированной электродной системе имеют меньшие значения по сравнению с аналогом как при различных величинах рабочего давления, так и при различных величинах разрядного тока. Этот факт также подтверждает большую энергетическую эффективность электродной системы с осцилляцией электронов, на основе которой предполагается создать источник положительных ионов.

Необходимо также отметить, что в некоторых экспериментах наблюдался сильный рост падения напряжения на разрядном промежутке 8 при снижении давления в нём ниже некоторой критической величины. Тлеющий разряд переходил практически в высоковольтную форму. Аналогичное явление происходит и при увеличении длины зазора между торцевой плоскостью катода 4 и электродом 10. Эти два фактора в дальнейшем можно использовать для поддержания высоковольтной формы тлеющего разряда, например, при генерации двукратно заряженных ионов.

Увеличение плотности плазмы на оси эмиссионной области электродной системы можно достигнуть за счёт магнитного сжатия, как сделано в работе [4]. Требуемую конфигурацию магнитных силовых линий вдоль системы можно получить, варьируя количество и расположение корректирующих магнитов вдоль магнитопровода 13. В дальнейшем необходимо также ввести водяное охлаждение анода 10.

3. ВЫВОДЫ

Таким образом, на основе полученных предварительных экспериментальных результатов можно сделать следующие выводы:

- создание условий для осцилляции электронов в эмиссионной области электродной системы позволило увеличить энергетическую эффективность тлеющего разряда;
- полученные характеристики разряда с осцилляцией электронов в эмиссионной области устройства позволяют сделать заключение о возможности его применения в источнике положительных ионов, работающем при низком давлении в разрядной камере;
- горение тлеющих разрядов с осциллирующими электронами возможно в двух формах: высоковольтной и сильноточной. Высоковольтную форму тлеющего разряда можно использовать при генерации двухзарядных ионов.

DISCHARGE SYSTEM WITH ELECTRON OSCILLATIONS IN THE EMISSION REGION FOR THE POSITIVE ION SOURCE

P.A. Litvinov, V.A. Baturin

Institute of Applied Physics, National Academy of Sciences of Ukraine,
58, Petropavlivs'ka Str., 40030, Sumy, Ukraine
E-mail: baturin@ipflab.sumy.ua

Design of the discharge system with electron oscillations in the emission region for the positive ion source was studied. Implementation of the conditions for electron oscillation in the emission region of the electrode system allowed to increase the energy efficiency of a glow discharge. Obtained characteristics of the discharge with electron oscillation in the emission region of the discharge chamber allow to conclude about possibility of its application in the positive ion source operating at low pressure in the discharge chamber.

Keywords: DISCHARGE CHAMBER, GLOW DISCHARGE, POSITIVE IONS, ION BEAM, ION SOURCE

РОЗРЯДНА СИСТЕМА З ОСЦИЛЯЦІЄЮ ЕЛЕКТРОНІВ В ЕМІСІЙНІЙ ОБЛАСТІ ДЛЯ ДЖЕРЕЛА ПОЗИТИВНИХ ІОНІВ

П.О. Литвінов, В.А. Батурін

Институт прикладної фізики НАН України,
вул. Петропавлівська, 58, 40030, Суми, Україна
E-mail: baturin@ipflab.sumy.ua

Розглянуто конструкцію розрядної системи з осциляцією електронів в емісійній області для джерела позитивних іонів. Реалізація умов для осциляції електронів в емісійній області електродної системи дозволила підвищити енергетичну ефективність тліючого розряду. Одержані експериментальні характеристики розряду з осциляцією електронів в емісійній області розрядної камери дозволять зробити висновок про можливість її використання в джерелі позитивних іонів, що працюють при низькому тиску в розрядній камері.

Ключові слова: РОЗРЯДНА КАМЕРА, ТЛІЮЧИЙ РОЗРЯД, ПОЗИТИВНІ ІОНИ, ІОННИЙ ПУЧОК, ДЖЕРЕЛО ІОНІВ.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. P.A. Litvinov, V.A. Baturin, *Nucl. Instrum. Meth. B* **171**, 573 (2000).
2. П.А. Литвинов, В.А. Батурин, А.Ю. Карпенко, С.А. Пустовойтов, С.А. Ерёмин, *ЖТФ* **75** №4, 80 (2005). (P.A. Litvinov, V.A. Baturin, A.Yu. Karpenko, S.A. Pustovoitov, S.A. Eremin, *Tech. Phys.* **50** No4, 468 (2005)).
3. P.A. Демирханов, Ю.В. Курсанов, В.М. Благовещенский, *ПТЭ* №1 30 (1964).
4. Л.П. Вересов, О.Л. Вересов, А.Ф. Чачаков, *ЖТФ* **76** №1, 132 (2006) (L.P. Veresov, O.L. Veresov, A.F. Chachakov, *Tech. Phys.* **51** No1, 130 (2006)).