

Литература

1. Дьяконов В. Simulink 4. Специальный справочник. СПб., 2002.
2. <http://energy.power.bmstu.ru/mvtu/>.
3. Имаев Д.Х., Ковальски З., Яковлев В.Б. и др. Анализ и синтез систем управления. СПб., Гданьск, Сургут, Томск, 1998.
4. Колганов А.Р., Таланов В.В. Компьютерный комплекс имитационного моделирования динамических систем: Практ. пособие. Иваново, 1997.
5. Арайс Е.А., Дмитриев В.М. Моделирование неоднородных цепей и систем на ЭВМ. М., 1982.
6. Дмитриев В.М., Шутенков А.В., Ганджа Т.В. Архитектура универсального вычислительного ядра для реализации виртуальных лабораторий // Приборы и системы. Управление. Контроль. Диагностика. 2004. № 2.
7. Фельдбаум А.А., Бутковский А.Г. Методы теории автоматического управления. М., 1971.
8. Попов Е.П. Теория нелинейных систем автоматического регулирования и управления. М., 1988.
9. Филлипс Ч., Харбор Р. Системы управления с обратной связью. М., 2001.
10. Зайченко Т.Н. Автоматизация моделирования линейных непрерывных САУ в системе моделирования MAPS // Приборы и системы. Управление. Контроль. Диагностика. 2004. № 9.

УДК 537.533

В.А. Бурдовицин

ПРОБОЙ УСКОРЯЮЩЕГО ПРОМЕЖУТКА ПЛАЗМЕННОГО ИСТОЧНИКА ЭЛЕКТРОНОВ В ФОРВАКУУМНОМ ДИАПАЗОНЕ ДАВЛЕНИЙ

Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники

Потребность в электронных источниках, способных обеспечивать генерацию электронных пучков в предварительном вакууме (форвакууме), обусловлена возможностью распространения электроннолучевых методов обработки материалов в ранее недоступную область. Серьезным стимулом к разработке подобных источников стали сообщения о применении электронных пучков для инициирования плазмохимических реакций [1, с. 46]. Цель настоящей работы состояла в исследовании физических явлений, сопровождающих генерацию плазмы и эмиссию из нее электронов, а также формирование электронного пучка в интервале давлений газа 0,01–0,1 Торр. Особенность указанного диапазона давлений состоит в повышенной вероятности электрического пробоя промежутка ускорения электронов. Это обстоятельство и определило круг и задачи исследований.

Схематическое изображение источника электронов представлено на рис. 1. Эмитирующая электроны плазма образуется в разряде с полым катодом 1 и анодом 2. Ускорение электронов осуществляется в промежутке: ускоряющий электрод 3 – эмиссионное окно 4, перекрытое сеткой или диафрагмой с эмиссионными отверстиями. Электроды источника

располагаются на изоляторах 5, 6. Электронный пучок 7 улавливается коллектором и измеряется прибором, включенным в его цепь. Регистрация пробоя производилась по резкому возрастанию тока в цепи питания ускоряющего промежутка и одновременному падению напряжения на промежутке. Дополнительным признаком пробоя служило исчезновение пучка.

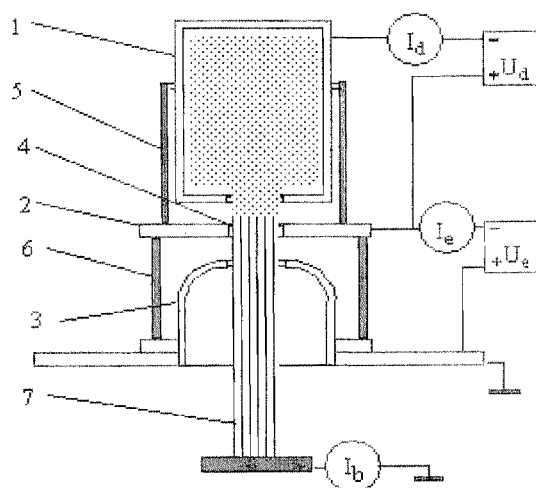


Рис. 1. Схема плазменного электронного источника

Как показали эксперименты, пробой ускоряющего промежутка может осуществляться в двух разновидностях, отличающихся как внешним проявлением, так и физическим механизмом. Один из вариантов пробоя, названный нами «плазменным», реализуется за счет проникновения плазмы через эмиссионные отверстия из разрядного промежутка в ускоряющий. Причем резкое возрастание тока фиксируется как в цепи питания разряда, так и в цепи ускоряющего промежутка. Физический механизм этого варианта пробоя подробно обсуждается в [2, с. 48]. Второй вариант пробоя, названный «межэлектродным», происходит между эмиссионным электродом 2 и ускоряющим электродом 3 (рис. 1). Предельное напряжение, которое еще выдерживает ускоряющий промежуток, падает с увеличением эмиссионного тока (рис. 2). Визуальные наблюдения показали, что возникновению пробоя предшествует появление плазмы вблизи ускоряющего электрода (рис. 3, а), причем по мере увеличения эмиссионного тока плазменная граница сдвигается в сторону эмиссионного электрода, и на этом электроде появляются центры эмиссии. Дальнейшее повышение тока или напряжения приводит к возникновению дугового разряда, то есть к пробую.

Для количественной оценки наблюдаемых явлений и уточнения физического механизма была сформулирована модель, суть которой поясняется рис. 3, б. Электроны, эмитируемые плазмой 1, проходя через эмиссионные отверстия в электроде 2, попадают в поле ускоряющего электрода 3. Ионизация газа электронами приводит к образованию вторичной плазмы 4 в области за ускоряющим электродом. Поскольку потенциал этой плазмы близок к потенциалу

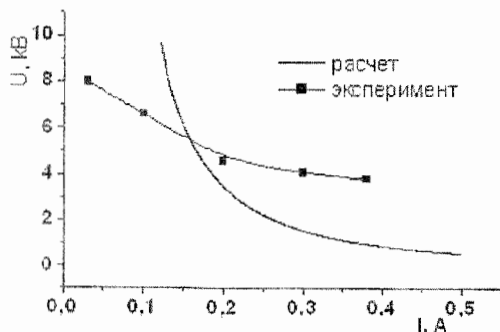
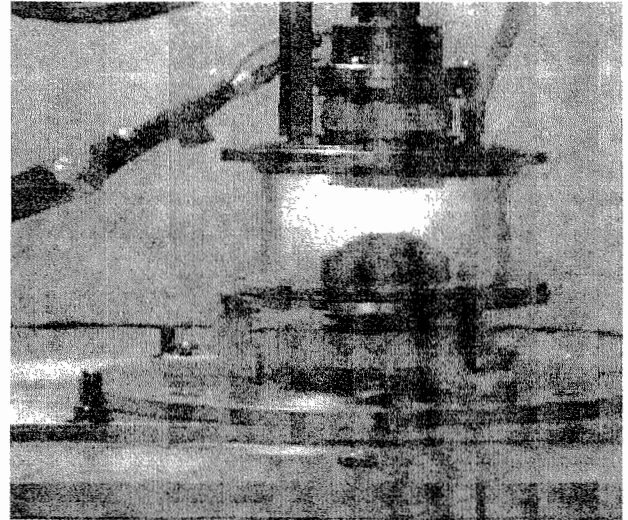
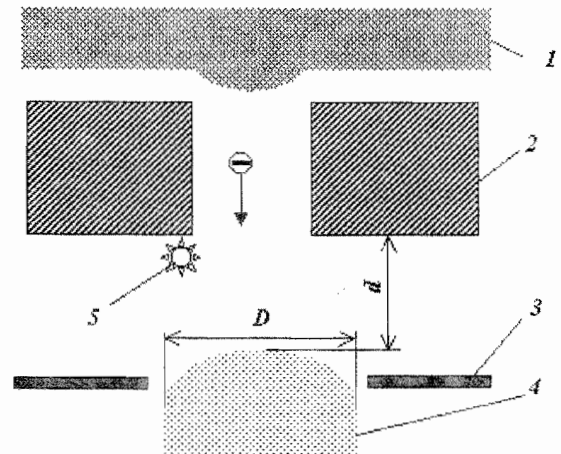


Рис. 2. Напряжение пробоя как функция эмиссионного тока



а



б

Рис. 3. Фотография (а) и схематическое изображение (б) ускоряющего промежутка

ускоряющего электрода, то по мере роста ее концентрации с увеличением тока электронов плазменная граница сдвигается в сторону эмиссионного электрода, что, в свою очередь, увеличивает напряженность поля вблизи этого электрода. Учитывая плохие вакуумные условия, можно с большой вероятностью прогнозировать наличие на поверхности эмиссионного электрода диэлектрических включений, что повышает вероятность возникновения взрывоэмиссионных центров 5 с ростом напряженности поля [3]. Образование этих центров и приводит к развитию дугового разряда, т.е. к пробую. Концентрация вторичной плазмы n может быть оценена из решения простейшего уравнения баланса ионов

$$\sqrt{\frac{2kT_e}{M}} \cdot n = \sigma \cdot n_0 \cdot \frac{j_e \cdot D}{e}, \quad (1)$$

где T_e – электронная температура плазмы,
 M_i – масса иона,
 σ – сечение ионизации газа электронами пучка,
 j_e – плотность тока пучка,
 n_0 – концентрация нейтральных молекул газа,
 D – характерный продольный размер плазмы, равный ее диаметру, при котором еще возможно одномерное приближение.

В допущении униполярного слоя его толщина может быть оценена по известному соотношению [4]

$$d = \frac{\varepsilon_0^{1/2} U^{3/4}}{n^{1/2} (ekT_e)^{1/4}}, \quad (2)$$

где U – падение потенциала на слое, равное в данном случае ускоряющему напряжению.

Задавшись значением критической напряженности поля $E_{кр}$, получаем выражение для пробивного напряжения

$$U_{проб.} = E_{кр}^4 \cdot \left(\frac{\varepsilon_0}{\sigma \cdot n_0 \cdot j_e \cdot D} \right)^2 \cdot \frac{e}{M}. \quad (3)$$

Понятно, что величина $E_{кр}$ может быть задана лишь ориентировочно, тем не менее при $E_{кр} = 5 \cdot 10^4$ В/см получается зависимость, неплохо согласующаяся с результатами эксперимента (рис. 2). Это дает дополнительные аргументы в пользу предлагаемого механизма пробоя.

Литература

1. Ivanov A.A., Serov A.A., Kniazev L.N., Muraviov S.V. Efficiency of Electron-Beam Energy Deposition in a Beam-Plasma Discharge. Plasma Physics Reports. 1999. V. 25. №1.
2. Бурачевский Ю.А., Бурдовицин В.А., Мытников А.В., Окс Е.М. ЖТФ. Т. 71. 2001. № 2.
3. Месяц Г.А. Эктоны. Ч. 1. Екатеринбург, 1993.
4. Плазменные процессы в технологических электронных пушках / Завьялов М.А., Крейнделъ Ю.Е., Новиков А.А., Шантурин Л.П. М., 1989.

УДК 631.48

А.В. Захарченко

МОРФОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ НАНОРЕЛЬЕФА ПОВЕРХНОСТИ ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТЫХ ПОЧВ ЛЕСНЫХ БИОГЕОЦЕНОЗОВ

Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники

Введение

Нанорельеф – это минимальная рефлекторная земная поверхность, которая может быть описана в терминах геоморфологии. В почвоведении эта поверхность относится к понятию «поверхность почвы». Масштаб отображения нанорельефа – 1:1 – 1:20.

Оказалось, что этот вид земной поверхности фактически не исследован, так как слишком мал для геоморфологов – это сантиметровый диапазон изменения относительных высотных

уровней колебания рельефа. Почвоведы же основное внимание сосредоточили на изучении взаимодействия почвы и микрорельефа [1]. По этому поводу сетовал Б.Г. Розанов: «Характер внешней поверхности почвы часто, к сожалению, ускользает от внимания почвоведов» [2]. Несмотря на то что это сказано более 20 лет назад, ситуация не изменилась по сегодняшний день. Обобщения относительно этого вида поверхностей отсутствуют и в зарубежной литературе, где основное внимание уделяется закономерностям взаимосвязи почвы с элементами