

УДК 533.9.08

В.П. ДЕМКИН, С.В. МЕЛЬНИЧУК

ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ И ОПТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПЛАЗМЫ ВЫСОКОВОЛЬТНОГО ИМПУЛЬСНОГО РАЗРЯДА В ГЕЛИИ¹

Ключевые слова: импульсный высоковольтный разряд, спектроскопическая диагностика, электрическое поле, эффект Штарка.

Введение

В работах [1, 2] проводилось исследование распределения электрического поля в межэлектродном зазоре высоковольтного импульсного разряда. Показано, что накопление нескомпенсированного положительного объемного заряда приводит к изменению пространственно-временного распределения электрического поля $E(x, t)$ (где x – расстояние от катода вдоль оси разряда) в ускоряющем зазоре разряда. Распределение $E(x, t)$ является одним из основных факторов, определяющих кинетику частиц плазмы, что проявляется в пространственно-временном распределении интенсивности излучения $I(x, t)$ для переходов с резонансных уровней [1]. В целях изучения процессов, влияющих на генерацию и проникающую способность пучка электронов, формирующегося в ускоряющем зазоре, в данной работе проведены измерения и анализ зависимости $E(x, t)$ и $I(x, t)$ для перехода $\text{He}(2s^1S - 3p^1P^o)$ с $\lambda = 5015 \text{ \AA}$ вдоль оси разряда.

Результаты измерений и анализ полученных данных

Разряд емкости величины $C = 1 \text{ нФ}$, заряженной до $U_0 = 1.8 \text{ кВ}$, осуществлялся током в He при давлении $p = 27 \text{ Торр}$, протекающем в промежутке $d = 1 \text{ мм}$ между цилиндрическим катодом и сетчатым анодом с прозрачностью 50%. Давление гелия было подобрано таким образом, чтобы область прикатодного падения потенциала в максимуме тока J разряда была меньше межэлектродного зазора d . Измерение $E(x, t)$ в прикатодной области разряда проводилось по эффекту Штарка для π -компонент переходов $\text{He } 2P-4Q$; $Q = D(4921.93 \text{ \AA})$, $F(4920.35 \text{ \AA})$. Измерения $I(\lambda, t)$ проводились по методике [1, 2] при значениях x равных 0.1, 0.2, 0.3, 0.4 и 0.5 мм от катода. На рис. 1 представлен результат измерений в виде изолиний $I(\lambda, t)$ для $x = 0.2 \text{ мм}$. Утолщенными линиями слева и справа показаны положения максимумов интенсивности излучения запрещенной $4F-2P$ - и разрешенной $4D-2P$ -компонент излучения

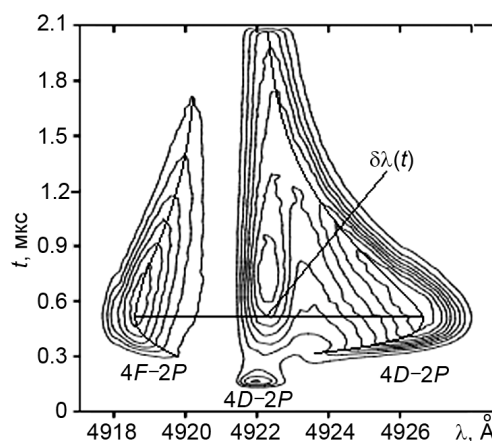


Рис. 1. Зависимость изолиний интенсивности излучения $I(\lambda, t)$ переходов $\text{He } 2P-4(D, F)$ от длины волны λ и времени t

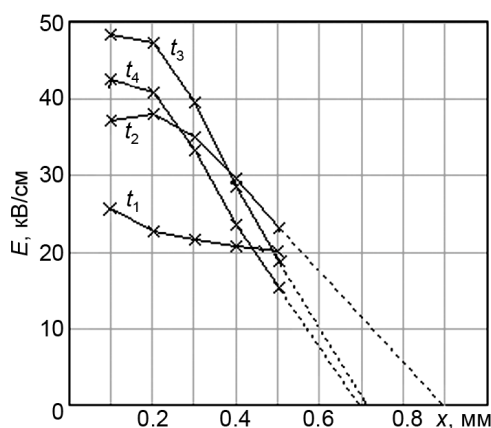


Рис. 2. Зависимость напряженности электрического поля E от положения в межэлектродном зазоре x в моменты времени $t_1 = 0.175$, $t_2 = 0.245$, $t_3 = 0.42$ и $t_4 = 0.595 \text{ мкс}$

атомов He , находящихся в межэлектродном зазоре. Расчет $E(t)$ для указанных значений x проводился по измерениям значений спектрального расстояния $\delta\lambda(t)$ между максимумами $4F$ -, $4D-2P$ -компонент по методике [3].

На рис. 2 представлены результаты расчетов $E(x)$ для моментов времени $t_1 = 0.175$, $t_2 = 0.245$, $t_3 = 0.42$ и $t_4 = 0.595 \text{ мкс}$. На рис. 3 приведены нормированные по амплитудному значению зависимости импульса напряжения $U(t)$ и тока $J(t)$ разряда. Здесь же представлены нормированные по амплитудному значению интенсивности $I_1(t)$ и $I_2(t)$ $\text{He}(5015 \text{ \AA})$ в факеле разряда на расстояниях $x = 3$ и 13 мм от сетчатого анода.

Момент времени t_1 на рис. 2 соответствует начальной стадии пробоя с $E(x)$, близким к однородному. Момент времени t_2 на переднем фронте $J(t)$ показывает последующее возрастание электрического поля возле катода, которое достигает своего максимального значения в момент времени t_3 , приходящийся на

¹ Работа выполнена в рамках программы повышения конкурентоспособности ТГУ среди ведущих мировых научно-образовательных центров.

область максимумов $U(t)$ и $J(t)$. В момент времени t_4 и далее наблюдается убывь E возле катода. При дальнейшем линейном спаде $E(x)$ пунктирные линии на рис. 2 разделяют межэлектродный зазор, указывая прианодную область с малым электрическим полем [1, 3].

На рис. 4 представлены результаты измерений $I(x, t)$ для перехода He(5015 Å) в межэлектродном зазоре и факеле разряда. Область пространства с $x = 1$ до $x = 3$ мм соответствует ободу сетчатого анода.

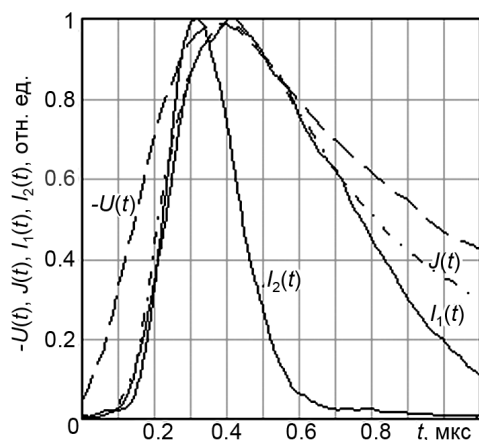


Рис. 3. Зависимости напряжения $U(t)$ и тока разряда $J(t)$ от времени, интенсивности $I_1(t)$ и $I_2(t)$ He (5015 Å) от времени в $x = 4$ и 13 мм

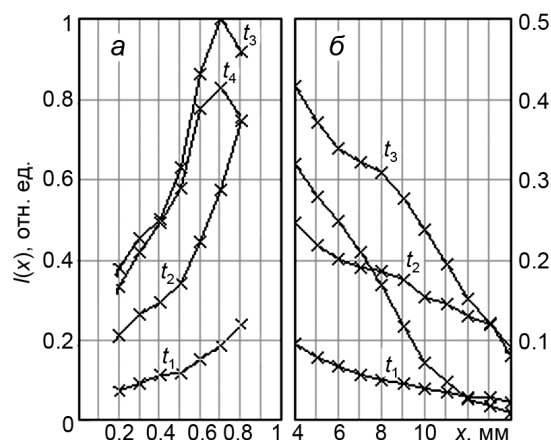


Рис. 4. Зависимость интенсивности $I(x)$ He (5015 Å) в межэлектродном зазоре (а) и в дрейфовом пространстве разряда (б) для моментов времени t_1 , t_2 , t_3 и t_4

Рис. 4, а показывает, что до t_2 с увеличением x наблюдается рост $I(x)$, обусловленный появлением вторичных электронов. Для t_3 и последующих моментов времени тенденция роста $I(x)$ изменяется на обратную в интервале $x = 0.7-0.8$ мм, что указывает на уменьшение средней энергии электронов. Как следует из рис. 2, к этому моменту времени формируется катодное падение потенциала. Из рис. 4, б следует, что на интервале между t_2 и t_3 происходит резкое изменение зависимости $I(x)$ в факеле разряда, указывающее на убывь проникающей способности электронного пучка при том, что $U(t_2) < U(t_3)$. Этот же вывод следует из кривых $I_1(t)$ и $I_2(t)$, представленных на рис. 3.

Заключение

Экспериментально показано, что в высоковольтном импульсном разряде с сетчатым анодом формирование катодного падения потенциала в области, меньшей величины ускоряющего зазора, сопровождается снижением проникающей способности электронного пучка за счет столкновительных процессов. Электрическое поле положительного объемного заряда, достигает величины ~ 30 кВ/см возле катода, его проникновение за сетчатый анод в область факела приводит к дополнительной деградации пучка электронов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Demkin V.P., Mel' nichuk S.V., Borisov A.V., and Bardin S.S. // Russ. Phys. J. – 2013. – V. 55. – No. 10. – P. 1222–1228.
2. Demkin V.P., Mel' nichuk S.V., Borisov A.V., and Bardin S.S. // Phys. Plasmas. – 2013. – V. 20. – P. 123501-1–123501-7.
3. Konievic N., Videnovic I.R., and Kuraica M.M. // J. Phys IV. – 1997. – Coll. C4. – P. C4-247–C4-248.

Национальный исследовательский Томский государственный университет,
г. Томск, Россия
E-mail: demkin@ido.tsu.ru; osbereg@yandex.ru

Поступило в редакцию 07.11.12,
после доработки – 04.04.13.