

ОЗ; О4

ВЛИЯНИЕ СОСТАВА ГАЗА НА РАСПАД  
ДОЛГОЖИВУЩЕЙ ПЛАЗМЫ,  
СОЗДАВАЕМОЙ КОЛЬЦЕВЫМ РАЗРЯДНИКОМЛ.С. Богдан, Ю.В. Задирака,  
С.М. Левитский, Е.В. Мартыш,  
С.Н. Махно

Изучение процессов образования и распада фотоионизационной плазмы в различных газовых средах при высоком давлении представляет значительный интерес как с точки зрения фундаментальных исследований, так и для ряда прикладных задач [1, 2].

Объектом рассматриваемых далее экспериментов была плазма, создаваемая кольцевым разрядником, подобным описанному в работе [3]. Такой разрядник представляет собой отрезок коаксиального кабеля, освобожденный от внешней оплетки и свернутый в кольцо, по внутреннему периметру которого расположены 10-12 изолированных друг от друга металлических электродов.

При подаче импульсного напряжения  $U = 10 \dots 25$  кВ происходит пробой, замыкающий одновременно все электроды разрядника. В результате разряда центральная область кольца заполняется плотной фотоионизационной плазмой [4]. В [4] отмечалось аномально длительное время существования подобной плазмы. Для объяснения этого эффекта авторы [4] предложили механизм поддержания плазмы за счет ассоциативной ионизации из электронно-возбужденных метастабильных состояний атомов рабочего газа.

В настоящей работе исследовалось влияние состава газа на поведение подобной долгоживущей плазмы с целью уточнения механизмов ее распада и причин, обуславливающих ее продолжительное существование. Измерения выполнялись в аргоне, азоте, кислороде и их смесях в диапазоне давлений от 10 до 100 Тор. Исследование плазмы проводилось методом зондирования на просвет СВЧ излучением с  $\lambda = 8$  мм.

Типичный вид осциллограммы СВЧ сигнала, прошедшего через плазменный слой, представлен на рис. 1. Здесь прямая 1 соответствует отсутствию СВЧ сигнала („нулевой уровень“); 2 - уровню СВЧ сигнала, прошедшего через камеру в отсутствии плазмы („газовый уровень“); 3 - кривая, соответствующая величине сигнала, прошедшего через плазму. Начало развертки совпадает с моментом пробоя разрядника. Время жизни плазмы  $\tau$  условно оценивалось как момент достижения прошедшим сигналом 90% от газового уровня.

Из рис. 1, а, б следует, что в начальный момент времени имеет место резкое ослабление прошедшего сигнала, иногда до полного его замирания, что указывает на возникновение плазмы с весь-

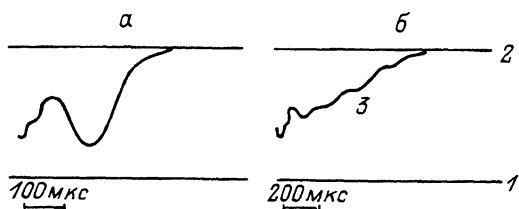


Рис. 1. Типичный вид осциллограмм СВЧ сигнала, прошедшего через слой плазмы при  $p = 100 \text{ Тор}$ ,  $U = 21 \text{ кВ}$ . а - разряд в  $Ar$ , б - разряд в  $N_2$ .

ма высокой концентрацией. Затем наблюдается рост проходящего сигнала, свидетельствующий о распаде плазмы. Однако, начиная с некоторого момента времени, возрастание сигнала замедляется (рис. 1, а), а в ряде газов и их смесей временной ход величины прошедшего сигнала оказывается даже немонотонным (рис. 1, б).

Сравнивая поведение СВЧ сигнала для различных газов, можно отметить, что для чистого  $Ar$  (рис. 1, а) характерен процесс медленного монотонного распада плазмы. Вместе с тем, для  $N_2$  наблюдается ясно выраженное повторное ослабление прошедшего сигнала при характерных временах в 100–150 мкс, что может быть истолковано как новый рост концентрации электронов на поздних временах существования плазмы. Аналогичная двухстадийность наблюдается и при разряде в воздухе и других азотсодержащих смесях. Выраженность второй стадии уменьшается при понижении импульсного напряжения, прикладываемого к разряднику.

Если предположить, что длительное время жизни плазмы действительно обусловлено ассоциативной ионизацией, то введение в рабочий газ примеси, эффективно тушащей электронные метастабильные состояния, позволило бы исключить механизм ассоциативной ионизации и существенно сократить время жизни плазмы. С этой целью нами был проведен цикл измерений в смеси  $Ar + O_2$  (0.05–10%). Константа скорости тушения метастабильных атомов аргона молекулами  $O_2$  составляет  $\sim 2 \cdot 10^{-10} \text{ см}^3/\text{с}$  [1]. При этом добавка 1%  $O_2$  в аргон при общем давлении смеси порядка 100 Тор должна была бы обеспечить тушение метастабилей за несколько микросекунд.

Результаты измерений показывают, что добавка кислорода действительно сокращает время жизни плазмы (рис. 2). Однако это сокращение не столь велико, как можно было бы ожидать; более того, уже при добавке кислорода в несколько процентов время жизни плазмы стабилизируется и в дальнейшем остается практически неизменным при повышении содержания  $O_2$  до 10%. При этом регистрируемый сигнал приобретает характерный двухстадийный вид уже при добавке 0.05%  $O_2$ .

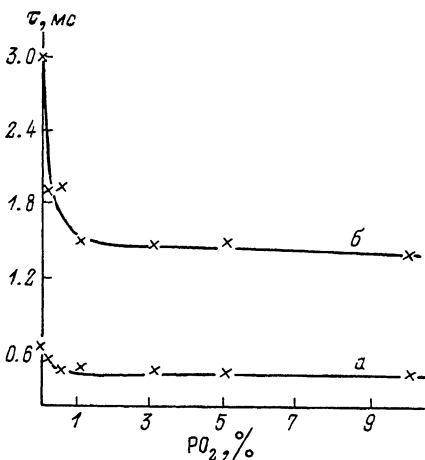


Рис. 2. Зависимость времени жизни плазмы при разряде в смеси  $Ar + O_2$  от примеси  $O_2$ ,  $U = 21$  кВ, а -  $\rho = 100$  Тор, б -  $\rho = 10$  Тор.

Нами были также проведены измерения в технически чистом кислороде. Известно, что в молекуле  $O_2$  не существует электронных метастабильных уровней, способных обеспечить ассоциативную ионизацию. Тем не менее и в этом случае была зарегистрирована долгоживущая плазма (700 мкс при  $\rho = 100$  Тор и

2000 мкс при  $\rho = 10$  Тор), а сигнал имел описанный выше двухстадийный характер.

Таким образом, объяснить существование долгоживущей плазмы только лишь за счет вклада ассоциативной ионизации из электронных метастабильных состояний (по крайней мере, для разряда в кислороде) не представляется возможным.

Другой возможной причиной длительного существования плазмы и двухстадийного характера ее распадного процесса может быть ассоциативная ионизация, обусловленная высоковозбужденными колебательными состояниями молекул  $N_2$  и  $O_2$  [5].

Авторы выражают свою признательность И.А. Коссову и А.Ю. Костинскому за плодотворное обсуждение изложенных результатов.

#### С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] С л о в е ц к и й Д.И. Механизмы химических реакций в неравновесной плазме. М.: Наука, 1980. 310 с.
- [2] Г а л а к т и о н о в И.И., Д в о р н и к о в И.В., К о л п а к о в Ю.Н., П у х о в А.М. // ОМП. 1988. № 1. С. 50-53.
- [3] Б а р х у д а р о в Э.М., Б е р е ж е ц к а я Н.И., Б о л ь ш а к о в Е.Ф., Д о р о ф е ю к А.А., Е л е ц к и й А.В., К о с с ы й И.А., Т а к т а к и ш в и л и И.И. // ЖТФ. 1984. Т. 54. В. 6. С. 1219-1222.
- [4] Г р и ц и н и н С.И., К о с с ы й И.А., С и л а к о в В.П., Т а р а с о в а Н.М., Т е р е х и н В.Е. // ТВТ. 1986. Т. 24. № 4, с. 662-667.
- [5] М н а ц а к а н я н А.Х., Н а й д и с Г.В. В кн.: Химия плазмы. Вып. 1. № 4 / Под ред. Смирнова Б.М., М.: Энергоатомиздат, 1987. С. 227-255.