V. V. Kralin, K. N. Firsov, CHARACTERISTICS OF AN ELECTRIC BREAKDOWN OF INERT-GAS MIXTURES WITH EASY-IONIZED ADMIXTURE,
Pisma v Zhurnal Tekhnicheskoi Fiziki, 1989, Volume 15, Issue 11, 89–92

Письма в ЖТФ, том 15, вып. 11 12 июня 1989 г.

03; 04

ОСОБЕННОСТИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПРОБОЯ СМЕСЕЙ ИНЕРТНЫХ ГАЗОВ С ЛЕГКОИОНИЗУЕМОЙ ДОБАВКОЙ

В.В. Кралин, К.Н. Фирсов

Стримерный пробой газов был объектом интенсивных исследований в 50–60 годах. В [1, 2] были получены критерии перехода от таунсендовского к стримерному механизму пробоя, которые подтвердились экспериментами в чистых газах. Однако все модели, описывающие развитие лавины и переход ее в стример, не учитывали рождение электронов в хвосте лавины за счет процесса Пеннинга. До настоящего времени влияние процесса Пеннинга на характер пробоя в смесях газов изучен недостаточно, несмотря на то что смеси газов (ПП смеси), в которых вероятность рождения электронов за счет процесса Пеннинга сравнима с вероятностью рождения электронов электронным ударом, применяются в некоторых газоразрядных устройствах [3].

Цель данной работы – экспериментальное исследование пробоя в пеннингующих смесях газов.

Эксперименты проводились как в классических ПП смесях (He с добавками инертных газов Ar, Kr), так и в инертных газах (He, Ar, Kr, Xe) с добавками легкоионизуемых веществ ЛВ. Потенциал ионизации ЛВ φ_i выбирался заведомо ниже энергии возбуждения нижних метастабильных уровней основного газа: триэтиламин (ТЭА), φ_i = 7.6 эВ; ортоксилол, φ_i = 8.5 эВ; аммиак NH_3, φ_i = 10.15 эВ.

Исследовался как статический, так и импульсный пробой в однородном электрическом поле, обеспечиваемом электродами с профилем Чанга. Межэлектродное расстояние составляло d = 1–6 см, площадь электродов – 300 см. Ток через промежуток ограничивался сопротивлением R = 5–20 кОм. Диапазон изменения парциального давления ЛВ составлял $P_{ЛВ}$ = 0.1–1.5 Тор при атмосферном давлении основного газа.

Зависимость напряжения статического пробоя $U_{пр}$ инертных газов от парциального давления ТЭА $P_{ТЭА}$ приведена на рис. 1,а. Как и в [4, 5], наблюдается снижение $U_{пр}$ при добавлении ЛВ, причем $U_{пр}$ резко снижается с ростом $P_{ТЭА}$ в области $P_{ТЭА} < 0.5$ Тор и затем насыщается. Характерно, что минимальные значения $U_{пр}$ близки для всех инертных газов. Аналогичные зависимости были получены в смесях Ar – ортоксилол; Kr – аммиак.

После пробоя промежутка возникает длительная квазистационарная фаза разряда, в которой напряжение на промежутке слабо изменяется. Она достигает нескольких Mc в Kr при $P_{ТЭА} <$ $<$ 1.0 Тор даже при $p \cdot d$ = 4500 Тор см. Визуальные наблюдения показали, что в этой фазе разряд имеет объемный характер, т.е.

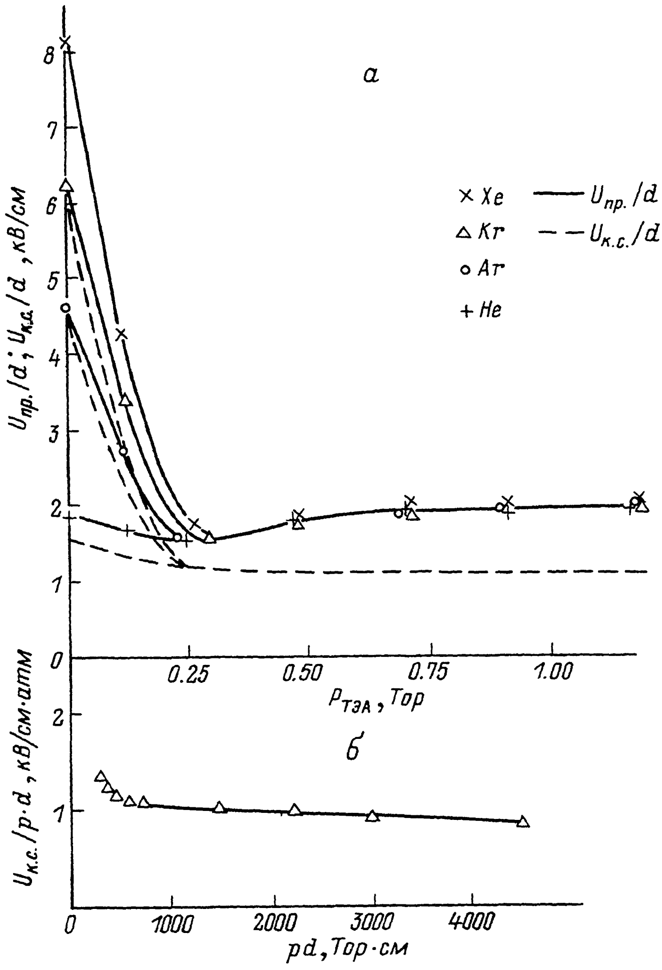

Рис. 1. а) Зависимость $U_{пр}/d$ (сплошная линия) и $U_{кс}/d$ (пунктирная линия) от давления ТЭА $P_{ТЭА}$ при атмосферном давлении основного газа He, Ar, Kr, Xe. б) Зависимость $U_{пр}/dp$ от параметра $p \cdot d$ в Ar с добавкой 1.2 Тор ТЭА.

наблюдается однородное свечение всего промежутка (или большей его части) с яркими пятнами на катоде (рис. 2). Напряжение в квазистационарной фазе разряда $U_{кс}$ (рис. 1,а) существенно ниже $U_{пр}$, что свидетельствует об образовании приэлектродных слоев объемного заряда. В промежутке формируется тлеющий разряд с прикатодной областью усиленного поля и положительным столбом,

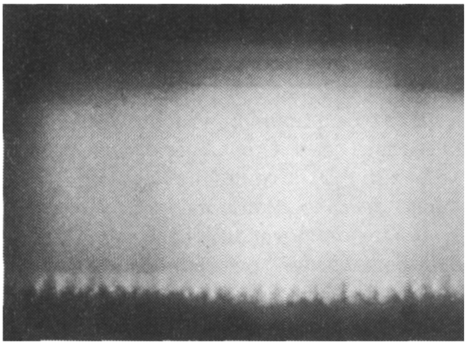

Рис. 2. Фотография разряда в Kr атмосферного давления с добавкой 1.2 Тор ТЭА при d = 4 см.

напряженность поля в котором определяется балансом процессов рождения и потерь электронов и не зависит от длины межэлектродного промежутка. Существование положительного столба подтверждается характером изменения величины с ростом $p \cdot d$ (рис. 1,б). При увеличении $p \cdot d$ размер приэлектродных слоев становится малым по сравнению с d, и $U_{кс}/d$ незначительно отличается от напряженности поля в промежутке Е. При $p \cdot d > 500$ Тор·см $U_{кс}/d$, а следовательно и Е, не зависит от d (при $p = const$) и определяется составом смеси.

Из-за растекания тока по поверхности электродов плотность тока разряда была гораздо меньше нормальной j_H. В некоторых смесях (Не–ТЭА, p = 0.5 атм, d = 1–6 см) после объемной фазы ток на катоде стягивался в точку и зажигался стационарный тлеющий разряд с нормальной плотностью тока. В остальных исследованных смесях объемная фаза завершалась искровым пробоем.

При импульсном пробое пеннингующих смесей с перенапряжениями до 100% объемная фаза также не исчезает, хотя ее длительность существенно сокращается.

Характерно, что наличие длительной фазы объемного горения разряда не является особенностью лишь смеси инертный газ–ТЭА. Аналогичные характеристики имел разряд и в смесях Ar – ортоксилол, Ar – аммиак.

В Не с добавками инертных газов небольшое снижение $U_{пр}$ по сравнению с чистым Не и объемная фаза длительностью несколько $мс$ наблюдались при давлении Ar или Kr $P_{Ar,Kr} < 0.1$ Тор и $p \cdot d =$ = 3000 Тор·см.

Последней из исследованных смесей была смесь N_2 с добавками ТЭА, которая интересна тем, что в качестве основного газа здесь выбран молекулярный газ. Характер разряда при $p \cdot d =$ = 1500 Тор·см и $P_{ТЭА} \sim 1.0$ Тор был таким же, что и в смеси инертный газ с ТЭА, хотя длительность объемной фазы не превышала 100 мкс.

Добавление к He небольшого количества электроотрицательных газов O_2, CO_2, CCl_4 ($P_{O_2, CO_2, CCl_4} < 1$ Тор) приводило к обратному эффекту (напряжение статического пробоя увеличивалось), что объясняется прилипанием электронов к электроотрицательным газам.

Таким образом, в работе показано, что добавление к инертному газу небольшого количества газа (кроме электроотрицательных газов O_2, CO_2, CCl_4 и т.д.) с потенциалом ионизации меньше энергии возбуждения нижнего метастабильного состояния инертного газа приводит к коренному изменению характера пробоя газа. В исследованных смесях газов с большими сечениями процесса Пеннинга (порядка газокинетических [6 – 8]) граница перехода к стримерному пробою по величине $p \cdot d$ значительно увеличивается. Даже при $p \cdot d = 4500$ Тор·см в промежутке формируется тлеющий разряд, в то время как в чистых газах переход к стримерному пробою осуществляется при значениях $p \cdot d \lesssim 1000$ Тор·см [8].

Список литературы

[1] Ретер Г. Электронные лавины и пробой в газах. М.: Мир, 1968.

[2] Мик Дж., Крэгс Дж. Электрический пробой в газах. М.: ИЛ, 1960.

[3] Аполлонов В.В., Ахунов Н., Миненков В.Р., Пельцман С.С., Прохоров А.М., Семкин Б.В., Фирсов К.Н., Шубин Б.Г. // Квантовая электроника. 1984. Т. 11. № 6. С. 1241.

[4] Penning F.M., Addink C.C.J. // Physica. 1934. V. 1. N 4. P. 1007.

[5] Алиев А.А., Аполлонов В.В., Ахунов Н., Велимамедов Д.М., Прохоров А.М., Фирсов К.Н. // Квантовая электроника. 1984. Т. 11. № 4. С. 735.

[6] Тарасенко Л.А., Орлов В.Ю. // Химия высоких энергий. 1973. Т. 7. № 1. С. 73.

[7] Čermak V., Herman Z. // Coll. Crech. Chem. Commun. 1965. V. 30. N 1. C. 169.

[8] Райзер Ю.П. Физика газового разряда. М.: Наука, 1987.

Поступило в Редакцию
4 мая 1988 г.
В окончательной редакции
16 сентября 1988 г.