

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 (Не с добавками инертных газов Ar, Kr), так и в инертных газах (He, Ar, Kr, Xe) с добавками легкоионизируемых веществ ЛВ. Потенциал ионизации ЛВ φ_i выбирался заведомо ниже энергии возбуждения нижних метастабильных уровней основного газа; триэтиламин (ТЭА), $\varphi_i = 7.6$ эВ; ортоксилол, $\varphi_i = 8.5$ эВ; аммиак NH_3 , $\varphi_i = 10.15$ эВ.

Исследовался как статический, так и импульсный пробой в однородном электрическом поле, обеспечиваемом электродами с профилем Чанга. Межелектродное 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 M_e в Kr при $P_{ТЭА} < 1.0$ Тор даже при $\rho \cdot d = 4500$ Тор см. Визуальные наблюдения показали, что в этой фазе разряд имеет объемный характер, т.е.

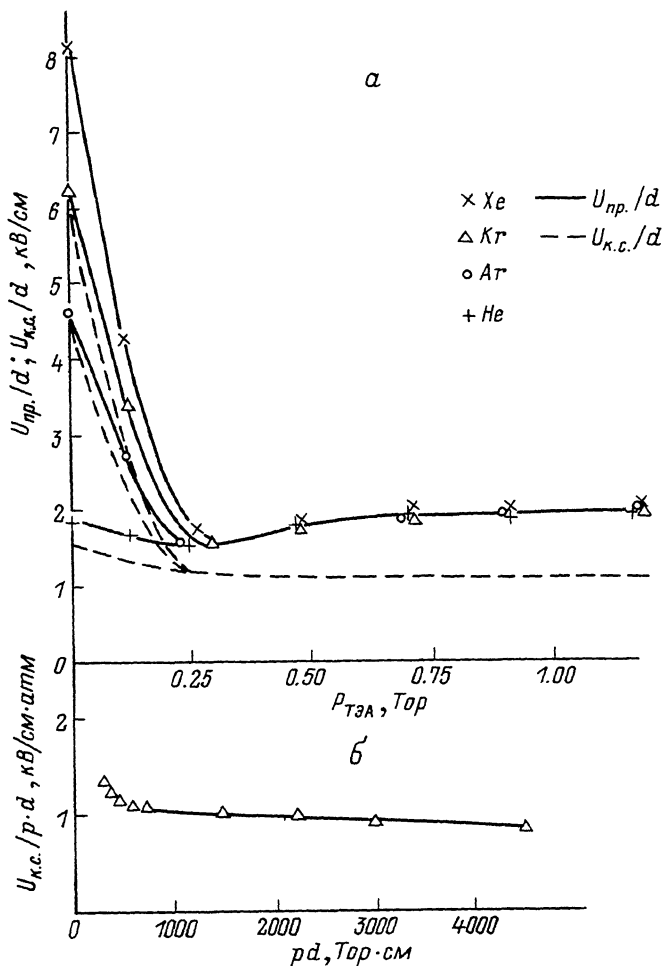


Рис. 1. а) Зависимость U_{np}/d (сплошная линия) и $U_{к.с.}/d$ (пунктирная линия) от давления ТЭА $P_{ТЭА}$ при атмосферном давлении основного газа He, Ar, Kr, Xe. б) Зависимость $U_{к.с.}/p \cdot d$ от параметра $p \cdot d$ в Ar с добавкой 1.2 Тор ТЭА.

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

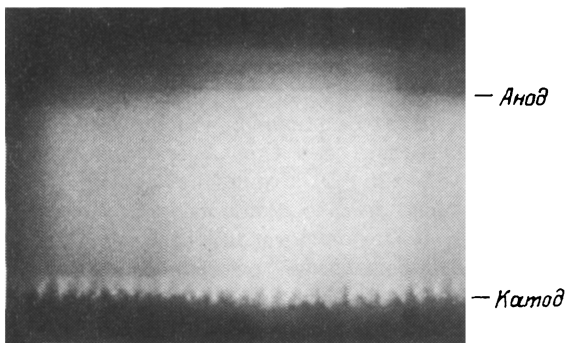


Рис. 2. Фотография разряда в Kr атмосферного давления с добавкой 1.2 Тор ТЭА при $d = 4$ см.

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 E . При $p \cdot d > 500$ Тор·см $U_{кс}/d$, а следовательно и E , 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 (He-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 пеннигующих 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 He с добавками инертных газов небольшое снижение $U_{пр}$ по сравнению с чистым He 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 Не небольшого количества электроотрицательных газов O_2, CO_2, CCl_4 ($p_{O_2, CO_2, CCl_4} < 1 \text{ Тор}$) 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 пробоя по величине $p \cdot d$ значительно увеличивается. Даже при $p \cdot d = 4500 \text{ Тор} \cdot \text{см}$ в промежутке формируется тлеющий разряд, в то время как в чистых газах переход к стримерному пробоя осуществляется при значениях $p \cdot d \lesssim 1000 \text{ Тор} \cdot \text{см}$ [8].

С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] Р е т е р Г. Электронные лавины и пробой в газах. М.: Мир, 1968.
- [2] М и к Дж., К р э г с Дж. Электрический пробой в газах. М.: ИЛ, 1960.
- [3] А п о л л о н о в В.В., А х у н о в Н., М и н е н к о в В.Р., П е л ь ц м а н С.С., П р о х о р о в А.М., С е м к и н Б.В., Ф и р с о в К.Н., Ш у б и н Б.Г. // Квантовая электроника. 1984. Т. 11. № 6. С. 1241.
- [4] P e n n i n g F.M., A d d i n k C.C.J. // Physica. 1934. V. 1. N 4. P. 1007.
- [5] А л и е в А.А., А п о л л о н о в В.В., А х у н о в Н., В е л и м а м е д о в Д.М., П р о х о р о в А.М., Ф и р с о в К.Н. // Квантовая электроника. 1984. Т. 11. № 4. С. 735.
- [6] Т а р а с е н к о Л.А., О р л о в В.Ю. // Химия высоких энергий. 1973. Т. 7. № 1. С. 73.
- [7] С е р т а к V., Н е р т м а н Z. // Coll. Czech. Chem. Commun. 1965. V. 30. N 1. С. 169.
- [8] Р а й з е р Ю.П. Физика газового разряда. М.: Наука, 1987.

Поступило в Редакцию
4 мая 1988 г.

В окончательной редакции
16 сентября 1988 г.