

УДК 537.521.7

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ФОРМИРОВАНИЯ КАТОДНОГО ПЯТНА ПРИ ИСКРОВОМ ПРОБОЕ ГЕЛИЯ В СИЛЬНОМ ПРОДОЛЬНОМ МАГНИТНОМ ПОЛЕ

М.-Р. Г. Кишов

Исследуется процесс формирования катодного пятна при искровом пробое гелия по изменению длительности ступени напряжения в сильном продольном магнитном поле (до 240 кЭ). Экспериментально получено, что эта длительность сильно зависит от давления газа, межэлектродного расстояния, напряжения пробоя на разрядном промежутке и напряженности магнитного поля.

В ряде случаев при искровом пробое катодное пятно формируется не сразу за стримерной фазой, а по прошествии некоторого времени. Это время при осциллографическом исследовании пробоя определяется как длительность ступени, наблюдающейся на спаде напряжения; при исследовании пространственно-временной картины развития пробоя время формирования катодного пятна определяется как фаза объемного свечения, предшествующая контрагированию канала разряда. Появление ступенек напряжения при $E/p = 10^3 \div 10^4$ В/см·мм рт. ст. [1] связывается с таунсендовским механизмом пробоя, что согласуется с исследованиями [2, 3], где показано соответствие ступени напряжения по осциллограммам диффузному (объемному) свечению пространственно-временной картины развития пробоя.

Исследование катодных пятен сопряжено со значительными трудностями, связанными с нестабильностью, дискретностью и большой скоростью изучаемого явления. Мейр [4], например, наблюдал, что при прочих равных условиях продолжительность ступени колеблется в пределах 2—12 мкс. Но исследование природы катодного пятна представляет как теоретический (катодное пятно дает то недостающее звено в общей последовательности процессов «раскачивания» ионизации, которым заканчивается пробой), так и практический интерес (получение стабильных характеристик катодов).

Задачей данной работы явилось осциллографическое исследование процесса формирования катодного пятна по изменению длительности ступени напряжения в сильном продольном магнитном поле, которое может: а) локализовать область, занятую катодными процессами, по взрывно-миграционной схеме формирования катодного пятна [5, 6], б) уменьшить взаимное влияние развивающихся катодных факелов из-за уменьшения коэффициента радиальной диффузии [7].

Исследования проводились в однородном электрическом поле, поскольку оно является одним из условий возникновения ступени [8] и, кроме того, однородные поля вызывают те или иные циклы и механизмы во многих электронных приборах. Методика эксперимента описана в [9]. Погрешность измерений динамическая и колеблется в пределах 7—13%.

ОБСУЖДЕНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ

После замыкания разрядного промежутка стримером или же после «кажущегося» приближения анода к катоду по Таунсенду — Роговско-му (из-за накопления положительного пространственного заряда у ано-

да) электропроводность промежутка определяется ограниченными эмиссионными способностями катода и, как следствие, квазистационарным значением удельной электропроводности, которое сохраняется до полного формирования катодного пятна. Это обусловлено тем, что при наличии избыточного положительного пространственного заряда в межэлектродном пространстве эффективность ионизации электронным ударом уменьшается, а самопоглощение излучения незначительно из-за отсутствия высокоэнергетических квантов света. На этой стадии пробоя напряженность электрического поля E на расстоянии катодного падения ($\sim 10^{-6}$ см) значительно (в данном случае $\sim 10^5$ раз) возрастает, указывая на заметный рост холодной эмиссии с катода, что отмечается на осциллограммах первым спадом напряжения (рис. 1), где приведены характерные осциллограммы пробоя. Энергетические перераспреде-

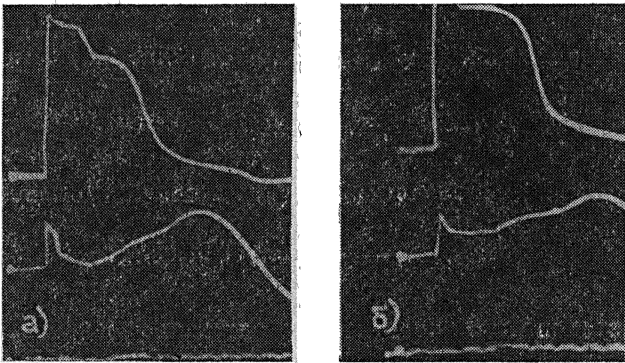


Рис. 1. Характерные осциллограммы ступенчатого изменения напряжения на промежутке; $p = 1900$ мм. рт. ст., $d = 0,37$ см, $W = 0$; частота меток — 5 МГц. а) $H = 0$, б) $H \neq 210$ кЭ. Верхний луч осциллографа записывает меток — 5 МГц. а) — напряжения на промежутке, а нижний — тока.

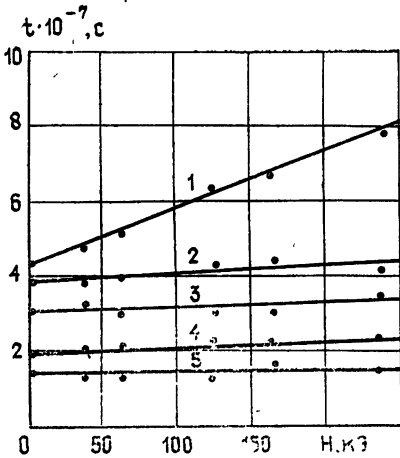


Рис. 2.

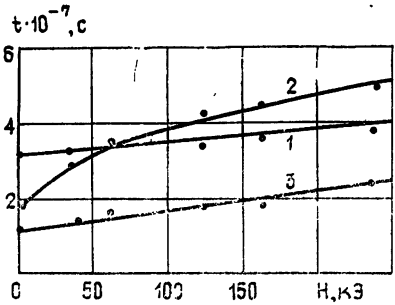


Рис. 3.

Рис. 2. Зависимость длительности ступени напряжения t от давления p , межэлектродного расстояния d , напряженности магнитного поля H , когда перенапряжение $W = 16\%$.

1 — $p = 400$, $d = 0,37$; 2 — $p = 400$, $d = 0,1$; 3 — $p = 800$, $d = 0,37$; 4 — $p = 1500$, $d = 0,37$; 5 — $p = 1500$ мм рт. ст., $d = 0,25$ см.

Рис. 3. Зависимость длительности ступени напряжения t от H ; 1 — $W = 16\%$, 2 — $W = 30\%$, 3 — $W = 50\%$, $p = 760$ мм рт. ст., $d = 0,1$ см.

ния, наблюдаемые на рис. 1, при наличии сильного продольного магнитного поля будут зависеть от размеров области, представленной развивающимся электронным лавинам. На рис. 2 приведены некоторые данные, показывающие относительное изменение воздействия магнитного поля на длительность ступени напряжения t при изменении межэлектродного расстояния d и давления в газоразрядном промежутке p . Из исследований влияния внешних условий на длительность ступени на спаде напряжения нам представляются интересными результаты, приведенные на рис. 3, показывающие, что воздействие сильного продольного магнитного поля на процессы формирования катодного пятна существенным образом зависит от величины напряженности электрического поля (перенапряжения W на исследуемом промежутке).

По модельным представлениям, развитым в литературе (см., например, [5, 6]), можно считать, что при заданных условиях разряда катодное пятно формируется после определенного количества микровзрывов. Высокая плотность тока в микрокатодном пятне ($\sim 10^5 \text{ А} \cdot \text{см}^{-2}$) приводит к значительному взрывообразному испарению металла с поверхности катода в форме светящегося облака, состоящего из возбужденных атомов металла электрода. В момент взрывообразного испарения объема ΔV бомбардировка микролунки заряженными частицами прекращается и процесс накопления внутренней энергии перемещается на соседнюю область и т. д. до полного формирования высокотемпературного квазистационарного катодного пятна. Временные изменения длительности ступени на спаде напряжения t при наличии какой-либо степени свободы (в данном случае сильного продольного магнитного поля) связаны как с уменьшением радиуса головок лавин или катодных факелов [10], так и с уменьшением выхода материала электродов в межэлектродное пространство [11], что можно связать с уменьшением числа микровзрывов в процессе формирования катодного пятна, а также с уменьшением выхода вещества электродов при каждом отдельном акте микровзрыва. Среднее время формирования элементарного взрыва, оцененное для данного случая разряда по формуле, приводимой в [5], дает величину $\sim (2 \div 6) \cdot 10^{-7} \text{ с}$, когда изменяется напряжение пробоя от недонапряжений порядка 10% до перенапряжений порядка 40%. Практически невозможно точно учесть изменения всех величин, входящих в формулу, по которой оценивалось время формирования элементарного взрыва, чем, видимо, и объясняется, что длительность ступени, где укладываются несколько десятков микровзрывов, определяемая экспериментально (рис. 2, 3), сравнима с теоретической оценкой времени формирования одного отдельного акта микровзрыва. Однако эта оценка позволяет заключить, что одной из причин роста длительности ступени напряжения при наличии сильного продольного магнитного поля является затрудненный выход катодного пятна в высокотемпературный квазистационарный режим из-за ограничения миграции микрокатодных пятен по поверхности электрода.

В заключение следует отметить, что нами проводились исследования при изменении межэлектродного расстояния от 0,1 до 0,4 см, давления от 400 до 3000 мм рт. ст., напряжения на исследуемом промежутке от недонапряжений $\sim 20\%$ до перенапряжений $\sim 60\%$. При этих изменениях в основном сохраняются одни и те же качественные закономерности. Отметим также, что с понижением давления возрастает как длительность ступени напряжения, так и степень воздействия сильного продольного магнитного поля на ее длительность, что может найти применение при конструировании различных электронных устройств.

ЛИТЕРАТУРА

1. Мик Д., Крегс Д. Электрический пробой в газах. — М.: ИЛ, 1960.
2. Бычкова Л. Г., Бычкова Ю. И., Месяц Г. А. — Изв. вузов — Физика, 1967, 12, с. 116.
3. Омаров О. А., Кишов М.-Р. Г., Эфендиев А. З. — ЖТФ, 1975, 45, с. 1861.
4. Мауг, D. — Arch. Electrotech., 1930, 24, p. 15.
5. Афанасьев Н. В., Капельян С. Н., Филиппов Л. П. В кн.: Химия и физика низкотемпературной плазмы. — М.: МГУ, 1971.
6. Головейко А. Г. Диссертация. Минск, 1969.
7. Энгель А. Ионизованные газы. — М.: ИЛ, 1960.
8. Kohler, O. A. — Archiv Electrot., 1936, 30, p. 528.
9. Омаров О. А., Кишов М.-Р. Г., Султанов А. Г. — Сб. научных сообщений Дагестанского ун-та. Махачкала, 1974.
10. Mitani K., Kubo, N. — J. Phys. Mag. Japan, 1960, 15, p. 678.
11. Кишов М.-Р. Г. — Опт. и спектр., 1977, 42, с. 404.

Дагестанский государственный
университет

Поступила в редакцию
11 декабря 1979 г.

INVESTIGATION OF THE PROCESS OF A CATHODE SPOT FORMATION
IN THE SPARK HELIUM BREAKDOWN IN STRONGLY
LONGITUDINAL MAGNETIC FIELD

M.-R. G. Kishov

A process of a cathode spot formation in a strong longitudinal magnetic field (up to 240) in the spark helium breakdown is investigated over variation of a step voltage duration. Experimentally obtained that this duration depends strongly on the gas pressure, interelectrode distance, breakdown voltage at the discharge interval and the magnetic field strength.
