

Авторы выражают благодарность Г. В. Старкову за обсуждение полученных результатов и Л. К. Хвостенко за помощь в проведении расчетов.

Поступила 26 XII 1979

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Katz L., Penfold A. S. Range-energy relation for electron and the determination of beta-ray end-point energies by absorption.— Rev. Mod. Phys., 1952, vol. 24, p. 28.
2. Khare S. P., Varshi Y. P. Modified flummersfeld range energy relation for electrons.— Annalen Phys., 1961, vol. 7, p. 220.
3. Gledhill J. A. The range-energy relation for 0.1–500keV electrons.— J. Phys., 1973, vol. A6, p. 1420.
4. Anslow G. The total ionization produced in air by electrons of various energies.— Phys. Rev., 1925, vol. 25, p. 484.
5. Lehmann J. F., Osgood T. H. The total ionization due to absorption in air of slow cathode rays.— Proc. Roy. Soc., 1927, vol. 115, p. 609.
6. Joung J. R. Penetration of electrons in aluminium oxide films.— Phys. Rev., 1956, vol. 103, p. 292.
7. Hartman P. L. New measurements of the fluorescence efficiency of air under electron bombardment.— Planet. Space Sci., 1968, vol. 16, p. 1325.
8. Вятский А. Я., Храмов В. Ю. Закономерности взаимодействия электронов средних энергий с массивными твердыми телами.— ФТТ, 1975, т. 17, с. 3432.
9. Иванов В. Е., Осипов Н. К. Закономерности взаимодействия электронов малых энергий с массивными газовыми поглотителями.— ПМТФ, 1981, № 1.
10. Иванов В. Е., Осипов Н. К., Старков Г. В., Хвостенко Л. К. Метод Монте-Карло в задачах переноса малоэнергичных ( $E < 1$  кэВ) электронов в атмосфере.— В кн.: Полярные сияния. М., Наука, 1979.

УДК 533.915

### ВЛИЯНИЕ КАТОДНОГО СЛОЯ НА ВОЛЬТ-АМПЕРНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ РАЗРЯДА, ВОЗБУЖДАЕМОГО ЭЛЕКТРОННЫМ ПУЧКОМ

А. М. Оришич, А. Г. Пономаренко, В. Н. Снытников  
(Новосибирск)

Объемный разряд с предыонизацией газа пучком электронов нашел широкое применение при создании мощных лазерных систем, так как он может обеспечить возбуждение больших объемов газа при давлении  $p \sim 1$  атм [1, 2]. Однако физические процессы, определяющие основные закономерности поглощения энергии, исследованы явно недостаточно, особенно это относится к приэлектродным слоям разряда. Важность изучения катодного и анодного падений потенциала обусловлена их определяющей ролью в поддержании тока в разряде на уровне, заданном внешним источником и проводимостью газа разрядного промежутка [3], а также влиянием на устойчивость объемного разряда [4].

Численное моделирование катодного слоя (см., например, [5–7]) ограничивается дрейфовым приближением и не учитывает многие процессы — фотоионизацию, изменение скорости ударной ионизации при большой плотности поглощаемой энергии, ступенчатые процессы и т. д., — которые могут существенно повлиять на его реальные параметры.

В данной работе впервые проведены измерения концентрации электронов  $n$  интерферометрическим методом, исследованы вольт-амперные характеристики разряда (ВАХ) и определена величина катодного падения потенциала в зависимости от  $j_k/p^2$  в мощном объемном разряде при  $p = 0,25 - 1$  атм азота ( $j_k$  — плотность разрядного тока на катоде).

Объемный разряд в азоте с содержанием примесей  $\leq 0,2\%$  зажигался в камере электроионизационного  $\text{CO}_2$ -лазера, подробное описание которого приведено в работе [2]. Ионизация газа осуществлялась пучком элект-

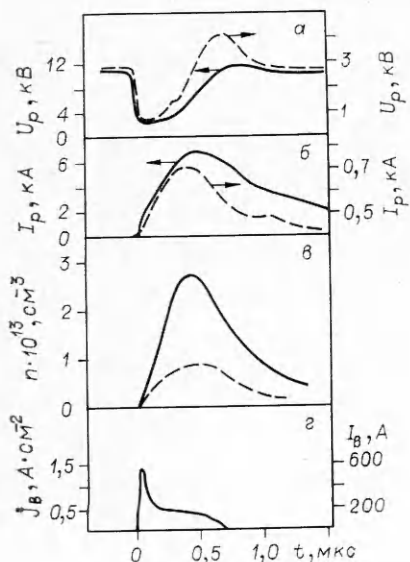
ронов с сечением на входе в разрядную камеру  $S_0 = 100 \times 4 \text{ см}^2$  и средней энергией  $W_0 = 120 \text{ кэВ}$ . Расстояние между электродами составляло  $d = 3,7 \text{ см}$ . В качестве источника энергии, поглощаемой в разряде, использовалась батарея конденсаторов КМФ-50-4 емкостью  $30 \text{ мкФ}$  с максимальным напряжением  $50 \text{ кВ}$ , подсоединяемая к разрядному промежутку через коммутатор. Индуктивность системы питания  $L = 0,7 \text{ мкГ}$ . В эксперименте контролировались полный ток разряда и напряжение на разрядном промежутке с помощью пояса Роговского и омического делителя.

Для измерения концентрации электронов  $n$  использовался двухдлинноволновый интерферометр типа Маха—Цандера ( $\lambda = 0,63$  и  $10,6 \text{ мкм}$ ) с фотоэлектрической регистрацией. Описание диагностической системы и результаты исследования возможности ее применения в мощных импульсных разрядах при давлении  $p \approx 1 \text{ атм}$  и степени ионизации  $n/N \leq 10^{-5}$  приведены в работе [8]. Зондирование плазмы с помощью интерферометра проводилось вдоль максимального размера  $l = 100 \text{ см}$  в центре разрядного промежутка. Специальные измерения показали, что значения  $n$  постоянны с точностью  $10\%$  вдоль направления протекания тока. Следовательно, величина электрического поля в разряде, исключая приэлектродные области, не зависит от расстояния до электродов. Детальное исследование поперечного распределения  $n$  не проводилось, однако контрольные измерения на расстоянии  $h = 3,5 \text{ см}$  от оси разряда, вне области прямого прохождения электронного пучка, показали наличие концентрации электронов, сравнимой с величиной в центре разряда, что обусловлено, по-видимому, рассеянием высокоэнергетического пучка на электродах разрядного промежутка.

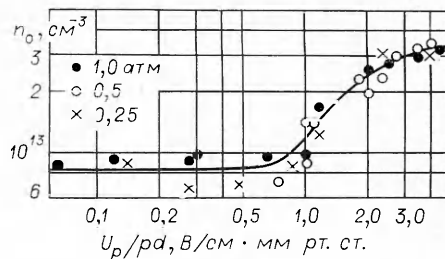
На фиг. 1 приведены типичные осциллограммы: *a* — напряжение на разрядном промежутке, *b* — ток разряда, *в* — изменение во времени концентрации электронов, *г* — ток пучка высокоэнергетических электронов. Начальное напряжение на разряде  $U_p = 10,3$  и  $2,8 \text{ кВ}$  (сплошная и штриховая линии на фиг. 1, *a* соответственно),  $p = 1 \text{ атм}$ .

Источник энергии подключался к разрядному промежутку за  $2 \text{ мкс}$  до включения ускорителя электронов. Уменьшение напряжения на разряде при включении внешнего ионизатора (фиг. 1, *a*) связано с перераспределением напряжения между созданным сопротивлением разряда и внутренним сопротивлением источника энергии.

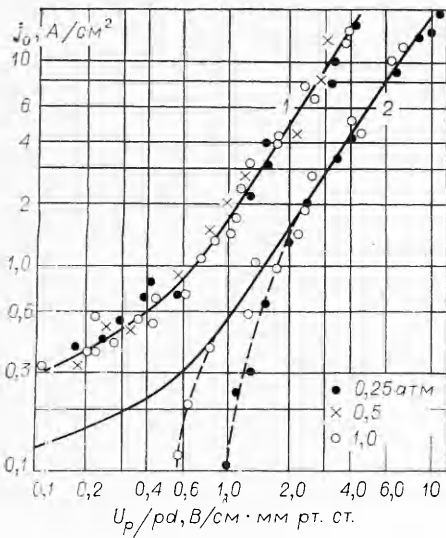
Отметим следующие важные особенности разряда. При большой напряженности разряда (при  $E_p/p > 2 \text{ В/см} \cdot \text{мм рт. ст.}$ ) ток и концентрация электронов достигали максимума через  $t \approx 0,5 \text{ мкс}$  после на-



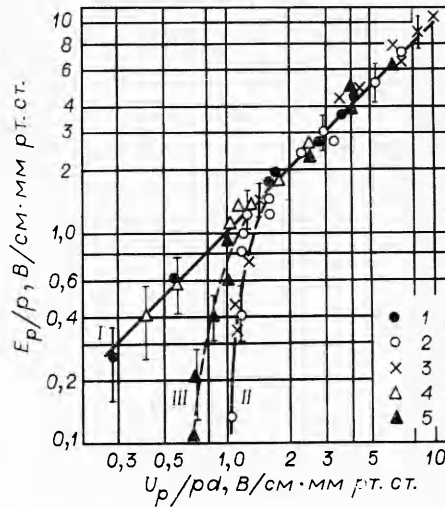
Фиг. 1



Фиг. 2



Ф и г. 3



Ф и г. 4

чала инициирования разряда и затем уменьшались в соответствии с рекомбинационным законом гибели свободных электронов в  $N_2$ . Однако при уменьшении  $U_p$  ниже критического значения наблюдалось более быстрое уменьшение тока разряда, что приводило к дополнительному возрастанию напряжения на разрядном промежутке  $U' \approx -L(\partial I_p/\partial t)$ . Отметим, что в данном режиме разряда каких-либо изменений в поведении концентрации электронов не наблюдалось.

Рассмотрим основные закономерности, определяющие вольт-амперные характеристики разряда в азоте. Величина тока  $I_p$  и концентрация электронов  $n$  в стационарном случае, т. е. при  $dn/dt = 0$ , могут быть определены из следующих простых выражений:

$$(1) \quad j_0 \approx e\psi_0^{1/2} F(E_p/p);$$

$$(2) \quad n_0 \approx (\psi_0/\beta)^{1/2},$$

где  $j_0 = (I_p/S)(p_0/p)^{1/2}$ ,  $n_0 = n(p_0/p)^{1/2}$  и  $\psi_0$  — плотность тока разряда, концентрация электронов и интенсивность внешней ионизации соответственно приведены к давлению  $p_0 = 1$  атм;  $F(E_p/p) = v/\beta^{1/2}$ ;  $v$  — дрейфовая скорость электронов;  $\beta$  — скорость рекомбинации;  $S$  — среднее сечение разряда. При  $\delta_k, \delta_a \ll d$  и равномерной ионизации газа электрическое поле в разряде равно

$$(3) \quad E_p \approx (U_p - U_a - U_k)/d,$$

где  $U_k$  и  $U_a$  — катодное и анодное падения потенциала;  $\delta_k, \delta_a$  — характерный размер катодного и анодного слоев. С учетом того, что  $U_a \ll U_k$ , величина  $U_a$  обычно не влияет на значение  $E_p$ . При  $U_k \ll U_p$  из (3) получим  $E_p/p \approx U_p/pd$ , и выражение (1) определяет параметрический закон подобия вольт-амперных характеристик при наличии внешней ионизации.

После выключения пучка электронов при  $\dot{\beta} = \text{const}$  ток разряда определяется выражением

$$(4) \quad j_0(t) = j_0(t_0) / [1 + (\psi_0\beta)^{1/2}(p/p_0)^{1/2}(t - t_0)],$$

где  $j_0(t_0)$  — приведенный ток разряда к моменту времени  $t_0$  — окончания действия ионизатора. В этом случае при  $\psi_0 \approx \text{const}$  дополнительным условием подобия вольт-амперных характеристик является

$$(p/p_0)^{1/2}(t - t_0) \approx \text{const}.$$

Экспериментальное подтверждение выполнения законов подобия (1), (2), (4) в мощном объемном разряде в  $N_2$  показано на фиг. 2, 3. Представлены зависимости концентрации электронов  $n_0$  (фиг. 2) и плотности тока  $j_0$  (фиг. 3) при наличии и отсутствии внешней ионизации в зависимости от  $U_p/pd$  (кривые 1 и 2 соответственно). Кривая 1 на фиг. 3 и значения  $n_0$  на фиг. 2 построены для момента времени 0,5 мкс, т. е. при  $dn/dt \approx 0$ ; кривая 2 соответствует значению параметра  $(p/p_0)^{1/2}(t - t_0) = 1,25 \cdot 10^{-7}$  с. Сплошными линиями показаны результаты соответствующих расчетов  $j_0$  из выражений (1), (4). Использованы значения  $v = f(E/p)$  в  $N_2$  по данным работы [9] и  $\beta = \phi(E/p)$ , измеренные в условиях эксперимента, аналогичных нашим [10]. Величина  $\psi_0 = (3 + 0,5) \cdot 10^{20}$  см<sup>-3</sup>·с<sup>-1</sup> в разрядном промежутке для  $t = 0,5$  мкс (т. е. при  $dn/dt \approx 0$ ) определялась двумя способами: методом, описанным в работе [11], и из выражения  $\psi_0 = \beta n_0^2$  по независимо измеренным  $n_0$  и  $\beta$ .

Среднее сечение разряда  $S$  находилось из соотношения  $S = I_p/evv$  при большом напряжении на разрядном промежутке  $U_p \approx 8 - 28$  кВ, для которого предполагалось выполнение условия  $U_k \ll U_p$  и  $E_p/p \approx U_p/pd$ . Величина  $S = 880$  см<sup>2</sup> при  $p \approx 1$  атм,  $S = 1250$  см<sup>2</sup> при  $p \approx 0,5$  атм,  $S = 1350$  см<sup>2</sup> при  $p \approx 0,25$  атм и не зависела от электрического поля при  $E_p/p \leq 10$  В/см·мм рт. ст. Неточность в определении значений  $S$  не превышала 4%. Из фиг. 3 видно, что при наличии внешней ионизации величина  $j_0$  монотонно возрастает с увеличением параметра  $U_p/pd$ . В пределах экспериментального разброса  $\pm 15\%$  закон подобия (1)  $j_0 = e\psi_0^{1/2} F(E_p/p)$  выполняется в широком диапазоне изменений величины  $U_p/pd \approx 0,1 - 5,0$  В/см·мм рт. ст., при этом напряжение на разрядном промежутке изменялось в диапазоне 150—4000 В при  $p = 0,25$  атм. В распадающейся плазме выражение (4) определяет ток разряда только при  $U_p/pd \geq 2$  В/см·мм рт. ст. Уменьшение  $U_p/pd \leq 2,0$  В/см·мм рт. ст. приводит к резкому снижению  $j_0$  и нарушению подобия вольт-амперных характеристик.

Отметим, что значение плотности тока разряда, как видно из выражений (1), (4), определяется величиной реального электрического поля в плазме, т. е. параметром  $E_p/p$ . На фиг. 4 представлены типичные зависимости электрического поля в разряде, исключая приэлектродные слои, от напряжения на разрядном промежутке для различных моментов времени с начала иницирования разряда:  $t = 0,5$  мкс ( $1 - p \approx 0,25$  атм,  $4 - p \approx 1$  атм);  $t = 0,75$  мкс ( $2 - p \approx 0,25$  атм,  $5 - p \approx 1$  атм);  $t = 1,0$  мкс ( $3 - p \approx 0,25$  атм). Вертикальные линии показывают неточность в определении поля. Величина  $E_p/p$  находилась из известной зависимости  $v = f(E_p/p)$  [9] по предварительно определенной дрейфовой скорости электронов. Значения  $v$  рассчитывались из соотношения  $v = j_0/n_0e$  по измеренным экспериментально  $I_p/S$  и  $n$  (см., например, фиг. 2, 3).

Данные, приведенные на фиг. 4, показывают, что при наличии внешней ионизации газа поле в разряде в пределах ошибки измерений полностью определяется напряжением на разрядном промежутке, т. е.  $E_p/p \approx U_p/pd$  (кривая I) во всем исследованном диапазоне  $U_p/pd \approx 0,2 - 10$  В/см·мм рт. ст. Отличительной особенностью динамики разряда после выключения ионизатора является резкое уменьшение напряженности поля в плазме при снижении напряжения на разрядном промежутке, т. е.  $E_p/p \ll U_p/pd$  при  $U_p/pd \leq 2$  В/см·мм рт. ст. (кривые II и III на фиг. 4). По-видимому, наблюдаемый эффект связан с сильным экранированием поля у электродов, что позволяет определить величину катодного падения потенциала  $U_k$  из соотношения

$$U_k \approx U_p - E_p d.$$

Значения  $U_K$ , измеренные в различные моменты времени, в зависимости от параметра  $j_K/p^2$  представлены на фиг. 5. Плотность тока на катоде  $j_K$  определялась по средней плотности тока разряда с учетом прозрачности сетки-катода.

Можно выделить два основных режима поддержания тока в катодном слое мощного объемного разряда при высоком давлении газа  $p \approx 1$  атм, которые характеризуются параметром  $\delta = \alpha j_e / e\psi$ , где  $\alpha$  — таунсендовский коэффициент ионизации в катодном слое,  $j_e$  — плотность тока электронов. При  $\delta \ll 1$  катодный слой формируется за счет генерации заряженных частиц под действием пучка, а процесс ударной ионизации несуществен. При уменьшении  $\psi$  или увеличении  $j_e$ , т. е. при  $\delta > 1$ , параметры катодного слоя полностью определяются ударной ионизацией и практически не должны отличаться от получаемых из теории тлеющего разряда [12]. Очевидно, что данный режим реализуется в эксперименте при выключении внешнего ионизатора. Отметим, что полученные значения  $U_K = 200-300$  В при больших  $j_K/p^2 \approx 2 \cdot 10^{-5}$  А/см<sup>2</sup>·мм рт. ст.<sup>2</sup> находятся в хорошем соответствии с классическим нормальным катодным падением потенциала при малых давлениях [12].

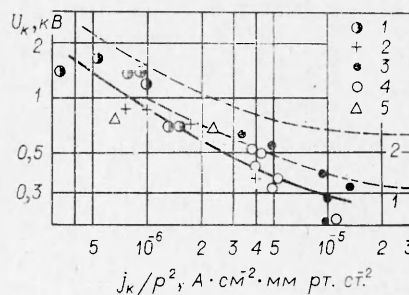
Как уже отмечалось, в условиях нашего эксперимента при наличии пучка электронов в пределах точности измерений в разряде отсутствует экранирование поля катодным слоем во всем исследованном диапазоне  $U_p/pd \approx 0,2-10$  В/см·мм рт. ст. Наибольший интерес вызывает область малых токов, т. е. малых  $U_p/pd$ , в которой влияние катодного падения потенциала на ВАХ должно быть максимальным.

Оценим возможное значение верхней границы  $U_K$  при наличии пучка электронов. Неточность в определении величины  $E_p/p$  при малых значениях  $U_p/pd < 0,5$  В/см·мм рт. ст. (см. фиг. 4) составляла  $\approx 40\%$ , что связано со слабой зависимостью дрейфовой скорости от  $E/p$ . Таким образом, при  $p \approx 0,25$  атм,  $U_p/pd \approx 0,3$  В/см·мм рт. ст. и  $j_K \approx 0,2$  А/см<sup>2</sup> ( $j_K/p^2 \approx 8 \cdot 10^{-6}$  А/мм рт.ст.<sup>2</sup>·см<sup>2</sup>) величина катодного падения потенциала не должна превышать в условиях нашего эксперимента  $U_K \leq 85$  В.

Простые оценки показывают, что столь малое значение  $U_K$  не может быть объяснено формированием катодного слоя как под действием ударной ионизации электронами разряда ( $\delta > 1$ ), так и внешней ионизации (в соответствии с теорией Томсона) со средней по разрядному промежутку скоростью  $\phi_0 \approx 3 \cdot 10^{20}$  см<sup>-3</sup> с<sup>-1</sup>.

По-видимому, свойства приэлектродного слоя на начальной стадии разряда обусловлены влиянием целого комплекса процессов. В частности, при формировании разряда, т. е. при возрастании  $n$  и  $I_p$ , не происходит установления стационарного катодного падения потенциала, что может привести к снижению действующей величины  $U_K$  [11], наблюдаемой в эксперименте.

Необходимо отметить, что ионизационные процессы вблизи катода нельзя рассматривать без учета взаимодействия пучка электронов с поверхностью электрода. В нашем эксперименте катод был выполнен в виде латунной сетки, через которую пучок инжектировался в разрядный промежуток. Бомбардировка катода быстрыми электронами приводит к неупругому отражению пучка с эффективностью  $\sim 0,3$  и средней энергией  $W \approx 0,5 W_0$ , а также вторичной эмиссии электронов с энергией  $W_e \approx 50$  эВ [13]. Можно предположить, что низкоэнергетическая составляющая рассеянных электронов и вторичные электроны могут значительно увеличить скорость ионизации газа вблизи катода и привести к снижению  $U_K$ .



Ф и г. 5

Для детального исследования механизма формирования катодного слоя при наличии пучка электронов, взаимодействующего с поверхностью катода, необходимы дополнительные эксперименты.

Рассеяние пучка на элементах конструкции разрядного промежутка существенно влияет, по-видимому, также на размеры объема ионизованного газа и, следовательно, на вольт-амперные характеристики разряда. Уменьшение давления, т. е. снижение ионизационных потерь, приводит к повышению энергии электронов, рассеивающихся на аноде, возрастанию их пробега и, следовательно, увеличению сечения разряда, что и наблюдалось в эксперименте.

Отметим, что при малом давлении  $p \approx 0,25$  атм величина  $S = 1350 \text{ см}^2$  ограничивалась размерами анода.

На фиг. 5 штриховыми линиями приведены для сравнения данные измерения  $U_K$  при наличии слабой внешней ионизации [14] (кривая 1) и типичные результаты численного моделирования (кривая 2) [7]. При малой плотности тока пучка формирование катодного слоя обусловлено ударной ионизацией и величина  $U_K$  совпадает с нашими данными, полученными после прекращения инжекции пучка электронов. Значения, определенные численным моделированием, более чем в два раза превышают экспериментальные данные, что указывает на необходимость более полного учета ионизационных процессов в катодном слое при проведении модельных расчетов.

В заключение отметим, что в работе исследовано влияние катодного слоя на вольт-амперные характеристики разряда. Впервые измерена концентрация электронов в мощном объемном разряде атмосферного давления  $N_2$ . Получены универсальные ВАХ разряда. Определена величина катодного падения потенциала в отсутствие внешнего ионизатора в мощном объемном разряде при давлении  $p = 0,25-1,0$  атм в диапазоне  $j_K/p^2 = 10^{-7} - 10^{-5} \text{ А/см}^2 \cdot \text{мм рт. ст.}^2$  Экспериментально показана возможность существенного снижения  $U_K$  при наличии внешней ионизации, что достигается, по-видимому, интенсивной ионизацией газа в катодном слое вторичными электронами, создаваемыми при взаимодействии высокоэнергетического пучка с поверхностью электрода.

Авторы выражают благодарность В. Г. Посуху за помощь в проведении измерений.

Поступила 22 I 1980

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Бычков Ю. И., Карлова Е. К. и др. Импульсный  $CO_2$ -лазер с энергией излучения 5 кДж.— Письма в ЖТФ, 1976, т. 2, вып. 5.
2. Оришич А. М., Пономаренко А. Г. и др. Мощный импульсный лазер на  $CO_2$  с энергией излучения 1 кДж.— Письма в ЖТФ, 1977, т. 3, вып. 1.
3. Бычков Ю. И., Королев Ю. Д., Месяц Г. А. Импульсный разряд в газе в условиях интенсивной ионизации электронами.— УФН, 1978, т. 126, вып. 3.
4. Месяц Г. А. Электрополевые неустойчивости объемного газового разряда, возбуждаемого электронным пучком.— Письма в ЖТФ, 1975, т. 1, вып. 14.
5. Захаров В. В., Карпиков А. А., Чехупов Е. В. Объемный газовый разряд в азоте со стационарной внешней ионизацией.— ЖТФ, 1976, т. 46, вып. 9.
6. Александров В. В., Котеров В. И. и др. Пространственно-временная эволюция катодного слоя в электроионизационных лазерах.— Квант. электроника, 1978, т. 5, № 1.
7. Королев Ю. Д., Пономарев В. Б., Сынах В. С. Режимы поддержания тока в катодном слое самостоятельного объемного разряда, возбуждаемого электронным пучком.— ПМТФ, 1979, № 1.
8. Оришич А. М., Пономаренко А. Г., Снытников В. П., Яковлев В. И. О возможности применения метода оптической интерферометрии для исследования объемного разряда электроионизационного типа.— В кн.: Тезисы докл. Всесоюзной конференции по низкотемпературной плазме. Киев, 1979.
9. Хаксли Л., Кромптон Р. Диффузия и дрейф электронов в газах. М., Мир, 1977.



10. Оришич А. М., Пономаренко А. Г., Снытников В. Н. Измерение скорости диссоциативной рекомбинации в азоте методом оптической интерферометрии. — В кн.: Тезисы докл. Всесоюзной конференции по низкотемпературной плазме. Киев, 1979.
11. Оришич А. М., Пономаренко А. Г., Посух В. Г. Распределение электрического поля в объемном разряде, контролируемом электронным пучком. — ПМТФ, 1979, № 1.
12. Грановский В. Л. Электрический ток в газе. М., Наука, 1971.
13. Гронштейн И. М., Фрайман Б. С. Вторичная электронная эмиссия. М., Наука, 1969.
14. Leland W. T. — In: IInd Symposium on Gas Laser Physics. Novosibirsk, 1975. Рус. пер. Леланд В. Т. Короткоимпульсный  $\text{CO}_2$ -лазер: связь между параметрами электрического разряда и КПД. — Квант. электроника, 1976, т. 3, № 4.

УДК 533.09

## ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ РАЗВИТИЯ И СТРУКТУРЫ БАРЬЕРНОГО РАЗРЯДА В БОЛЬШОМ ПРОМЕЖУТКЕ

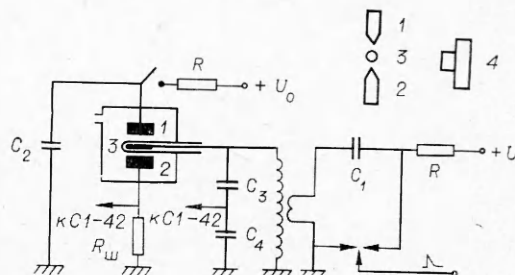
В. П. Белошеев

(Ленинград)

Барьерный разряд (БР) раньше применялся в основном в озонаторах и исследовался в оптимальных для этих устройств условиях:  $U = 3-10$  кВ,  $f \approx 10$  кГц, газовый промежуток 0,1—0,4 см с барьерами из стекла [1]. В последние годы в близких условиях были выполнены спектроскопические исследования БР [2, 3]. Во всех работах как специфическая особенность отмечалась многоканальность его структуры, что позволило использовать его в [4] для синхронного инициирования 20 сильноточных автономных разрядов, а в [5—7] для формирования сильноточных многоканальных разрядов.

Однако природа многоканальной структуры и механизм его развития изучены до настоящего времени недостаточно. Это обстоятельство, а также то, что в [4, 5] БР развивался в большем газовом промежутке и при большей величине и частоте питающего напряжения, послужило основанием для постановки данной работы. В ней исследовалась динамика развития БР, его структура, влияние на его свойства параметров разрядного и питающего контуров, состава газа, а также зависимость времени задержки инициируемого им разряда от напряжения на барьерном электроде.

**Описание экспериментальной установки.** Схема экспериментальной установки приведена на фиг. 1. Внутри камеры, которая могла продуваться аргоном, с зазором 0,8—3 см размещались два плоских основных электрода 1, 2 сечением  $4,5 \times 0,8$  см. Концы электродов имели вид клина ( $\alpha = 90^\circ$ ). Между ними находился поджигающий электрод 3 в виде проволоочки  $\varnothing 0,15$  см или алюминиевого цилиндра  $\varnothing 1$  см, длиной 4,5 см, заключенных в запаянную с одной стороны трубку из кварца с внутренним диаметром соответственно 0,15 и 1 см и толщиной стенки 0,15—0,2 см. Напряжение на него подавалось с повышающего трансформатора, выполненного на трех ферритовых кольцах  $\Phi 1000$  с размерами  $110 \times 60 \times 15$  мм. Через первичную обмотку ( $w = 2$ ) разряжался конденсатор  $C_1 = 0,01$ ;



Ф и г. 1