

- [1] T o l m a n R.C., S t e w a r t T.D. // Phys. Rev. 1916. V. 8 N 2. P. 97-116.
[2] К о г а н Ш.М. // УФН. 1971. Т. 105. № 1. С. 157-161.
[3] Г и н з б у р г В.Л., К о г а н Ш.М. // ЖЭТФ. 1971. Т. 61. № 3. С. 1177-1180.
[4] Ц и д и л ь к о в с к и й И.М. // УФН. 1975. Т. 115. № 2. С. 321-331.

Институт проблем
механики АН СССР,
Москва

Поступило в Редакцию
23 мая 1989 г.
В окончательной редакции
2 октября 1989 г.

Письма в ЖТФ, том 16, вып. 3

12 февраля 1990 г.

04; 09

© 1990

СТРУКТУРА И ХАРАКТЕР РАСПРОСТРАНЕНИЯ ИНИЦИИРОВАННОГО СВЧ – РАЗРЯДА ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ

В.Г. Б р о в к и н, Ю.Ф. К о л е с н и ч е н к о

В последние годы СВЧ разряд, создаваемый пучком электромагнитных волн, становится объектом повышенного интереса со стороны плазмохимии, лазерной технологии и др. Одновременно продолжается изучение физики самого разряда, в которой до сих пор остается много неясного. Цель настоящей работы – показать, что принятый в настоящее время взгляд на характер распространения сильнонеоднородной формы инициированного СВЧ разряда [1, 2] встречает серьезные возражения в области высоких давлений. Согласно [1, 2], распространение разряда имеет характер скачков в пространстве – на некотором расстоянии перед фронтом разряда происходит последовательное рождение все новых и новых каналов.

Как уже указывалось в [3, 4], опирающаяся на эти представления модель не дает количественного согласия с экспериментом, причем расхождение по скорости разряда достигает полутора порядков величины (при $\frac{E}{N} \sim 10^{-16}$ В·см², E – среднеквадратичная напряженность электрического поля волны, N – концентрация нейтральных молекул газа). В [3, 4] было высказано предположение о пространственно непрерывном (связном) характере развития разряда и рассмотрена соответствующая такому представлению стримерная модель.

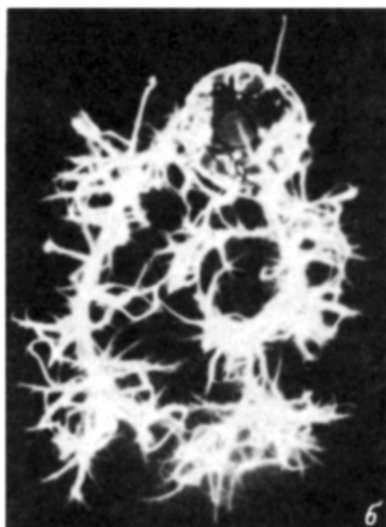
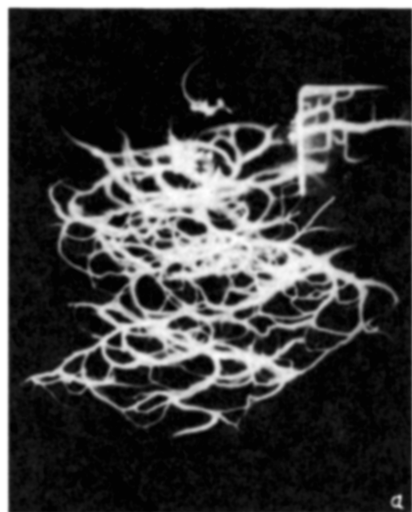
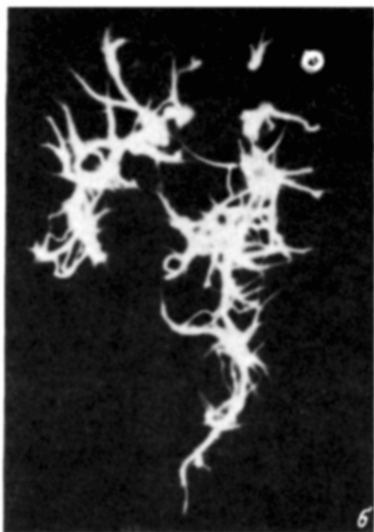
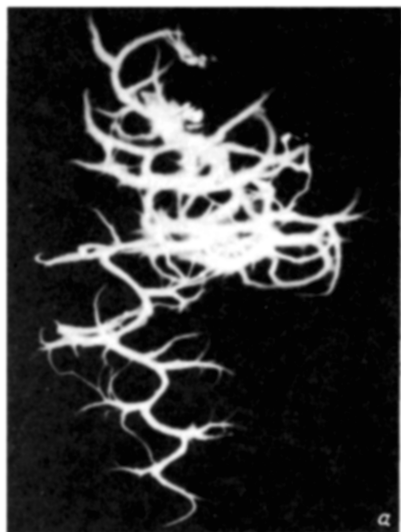


Рис. 1. Фотографии СВЧ разряда в двух проекциях. $\rho = 1$ атм, $\tau_{\mu} = 19$ мкс, $E = 2.8$ кВ/см. Излучение идет снизу. а - вектор E лежит в плоскости рисунка, б - вектор E перпендикулярен плоскости рисунка.

Рис. 2. То же, что на рис. 1. $E = 4$ кВ/см.

Ниже приведены результаты экспериментального изучения и анализа структурных особенностей и характера распространения СВЧ разряда в пучке волн в воздухе при давлении порядка атмосферного. Линейно поляризованная СВЧ - волна сантиметрового диапазона ($\lambda \approx 3$ см) с амплитудой электрического поля $E \lesssim 4$ кВ/см излучалась в камеру, где для инициации разряда устанавливалась „метелка“ из тонких проволочек, закрепленная на диэлектрической подложке. Длительность СВЧ импульса не превышала 20 мкс. В ходе эксперимента осуществлялась фоторегистрация картины свечения разряда (интегральной за импульс) в видимом диапазоне. Длительность импульса изменялась с различным шагом (1, 2, 5 мкс), что позволяло, проводя сравнительный анализ материалов фоторегистрации, изучать структурные и динамические характеристики разряда.

Измерения скорости распространения разряда навстречу потоку СВЧ энергии в зависимости от давления воздуха дали результаты, близкие к результатам работы [1]. Анализ большого количества интегральных фотоснимков, сделанных одновременно в двух проекциях, при вариации длительности СВЧ импульсов позволили сделать вывод, что распространение разряда происходит в результате пространственно непрерывного удлинения каналов, образующих структуру разряда. Скорость прорастания отдельного канала вряд ли постоянна, средняя же (за несколько мкс) скорость - около 10^6 см/с.

Основу структуры составляют продольные по отношению к волновому вектору \vec{K} ветви, значительное число элементов которых лежит в плоскости векторов \vec{E} и \vec{K} . Динамика образования ветвей такова, что вначале их рост происходит в основном в плоскости (\vec{E} , \vec{K}), не более же поздних стадиях импульса (при достаточной его длительности) начинается рост каналов из пределов плоскости. Этим, видимо, объясняется некоторое уменьшение средней скорости распространения разряда с ростом длительности импульса, происходящее еще в пределах области пространства, где поле однородно. Ветви хорошо видны на рис. 1, б, 2, б. В условиях эксперимента образуется не более двух ветвей, отстоящих друг от друга в среднем на расстоянии $\lambda/2$. На фотографии рис. 1, а видно, что в плоскости (\vec{E} , \vec{K}) ветвь представляет собой канал синусообразной формы (с осью вдоль \vec{K}), перед каждой точкой экстремума которого (при движении в направлении распространения) происходит ответвление, ориентирующееся вдоль вектора \vec{E} . В дальнейшем ответвления достигают размера порядка $\lambda/4$, „затеняются“ растущей навстречу структурой и останавливаются в росте. Длина волны синусоиды составляет приблизительно величину $\lambda/4$. Мы считаем, что описанный синусоидальный с ответвлениями элемент структуры является базовым в образовании структуры разряда в целом. Отметим, что в модели, развитой в [3, 4], такой тип структуры (правда, в виде „пилы“, а не синусоиды) обеспечивает наибольшую среднюю скорость распространения разряда навстречу излучению.

При фиксированных внешних условиях, т.е. напряженности электрического поля в импульсе, длительности импульса, давлении газа,

конкретные реализации структуры разряда меняются от импульса к импульсу. Это свидетельствует об элементах стохастичности в образовании структуры разряда, что свойственно системам, образующимся по стримерному механизму. Впечатление о стохастичности структуры (при наблюдении поперек вектора \vec{E}) усиливается наложением элементов различных ветвей (ср. рис. 1 и 2). Представляется, что структура разряда – это своеобразный стохастический „конструктор“, собираемый из небольшого числа базовых элементов. Структура базовых элементов определяется, вероятно, структурой электромагнитного поля в области, где происходит разряд (включая зависимость от угла сходимости и поляризации излучения). Этот вопрос требует особого рассмотрения и в настоящее время совершенно не исследован. Мы полагаем, что электромагнитное поле определенной структуры формирует такие базовые элементы, которые в качестве антенны обеспечивают наилучшие условия приема электромагнитной энергии и ее расходование на дальнейшее развитие (воспроизводство) структурных элементов разряда.

Таким образом, в работе на основе экспериментальных данных установлен связанный характер распространения инициированного СВЧ-разряда высокого давления, выделены основные элементы его структуры, предложен подход к анализу структурно сложных разрядов.

Авторы благодарят Н.И. Батурову и Ю.Д. Бухарева за помощь, оказанную при проведении экспериментов.

С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] Б а т а н о в Г.М., Г р и ц и н и н С.И., К о с с ы й И.А. и др. Труды ФИАН. Т. 160. М.: Наука, 1985. С. 174–203.
- [2] Г о л у б е в С.В., Г р и ц и н и н С.И., З о р и н В.Г. и др. В кн.: Высокочастотный разряд в волновых полях. Горький: ИПФ АН СССР, 1988. С. 136–197.
- [3] К о л е с н и ч е н к о Ю.Ф. В кн.: Тезисы докладов II Всесоюзного совещания „Высокочастотный разряд в волновых полях“. Куйбышев: КГПИ, 1989. С. 26–27.
- [4] К о л е с н и ч е н к о Ю.Ф. В кн.: Тезисы докладов Всесоюзного семинара по высокочастотному пробоев газом. Тарту: ТУ, 1989. С. 53–55.

Поступило в Редакцию
10 октября 1990 г.