

одинаковую не только качественную, но и количественную зависимость от состава, однако различались между собой больше, чем величины удельного энергосъема (до 30%). Значения $t_{\text{опт}}$ при этом имели несколько различную качественную зависимость от состава.

Поступила 1 III 1979

ЛИТЕРАТУРА

1. Лосев С. А. Газодинамические лазеры. М., Наука, 1977.
2. Селезнева И. К. Газодинамические лазеры на CO_2 с тепловой накачкой. Дис. на соиск. учен. степени канд. физ.-мат. наук. М., ИПМ АН СССР, 1972.
3. Генич А. П., Куликов С. В., Манелис Г. Б. Расчеты энергетических характеристик многокомпонентных рабочих сред в CO_2 -ГДЛ на продуктах.— ПМТФ, 1979, № 4.
4. Васильев В. М., Куликов С. В., Скребков О. В. О расчете химически и колебательно-неравновесного течения многокомпонентного газа через сопло.— ПМТФ, 1977, № 4.
5. Генич А. П., Евтюхин Н. В., Куликов С. В., Манелис Г. Б., Соловьева М. Е. Расчеты коэффициентов усиления многокомпонентных рабочих сред в CO_2 -ГДЛ на продуктах горения.— ПМТФ, 1979, № 1.

УДК 533.09

РАЗРЯД ПО ПОВЕРХНОСТИ УГЛЕГРАФИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Е. А. Зобов, В. Г. Соколов, А. Н. Сидоров,
Г. И. Смирнова, Ю. В. Томашевич

(Ленинград)

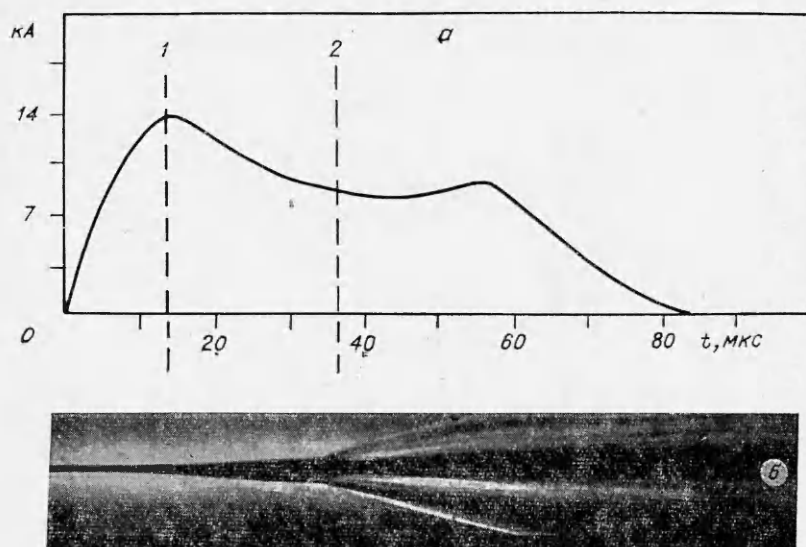
Сильноточные разряды в газах в последнее время вызывают интерес как возможные источники света для оптической накачки лазеров.

Обычно для инициирования разряда используют электрический взрыв проволочек (ЭВП) [1] или системы проволочек [2]. В работе [3] вместе с ЭВП рассматривалась проблема инициирования сильноточного разряда с помощью скользящих искр.

Наряду с этими способами инициирования может быть применен и разряд по полупроводящей поверхности [4]. Наибольший интерес представляет разряд на поверхности углеродистого графита, однако широкому применению этого типа разряда мешали трудности изготовления устройств с большой длиной разрядного промежутка (более 20 см). Успехи технологии последнего времени [5] позволили преодолеть эти трудности. В настоящее время промышленность выпускает большой ассортимент углеродистых материалов, которые могут быть применены для инициирования пробоя в разрядных промежутках практически любой длины. В этих условиях представлялось интересным исследовать пробой на поверхности угольных нитей (УН) при длине разрядного промежутка более 0,2 м в различных газах, а также динамику его развития и зависимость пробоя от параметров источника напряжения.

1. Электрическая схема экспериментальной установки представляла LCR разрядный контур. Емкость C имела величину 16; 27; 2400 мкФ. Максимальные зарядные напряжения составляли соответственно 20; 40 и 5 кВ. Индуктивность контура во всех случаях была порядка 1—1,5 мкГ. Роль сопротивления R играла углеродистая нить, разряд по поверхности которой и был объектом исследования. Нить помещалась в вакуумную камеру из оргстекла. Цепь разряда замыкалась управляемым коммутатором. Ток в цепи регистрировался поясом Роговского.

В качестве среды, окружающей угольную нить, были применены воздух, углекислый газ, гелий, неон и шестифтористая сера при давлениях от 35 до 760 мм рт. ст.



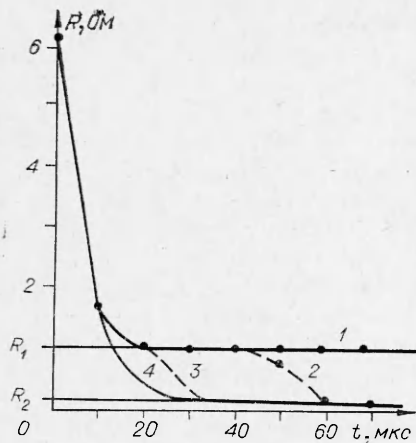
Ф и г. 1

Динамика развития пробоя по поверхности нити регистрировалась на теневой установке в режиме непрерывной развертки.

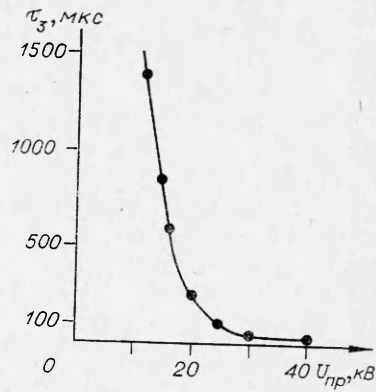
2. Напряженность перекрытия $E_{\text{п}}$ поверхности УН для всех сред оказалась лежащей в диапазоне от 10 до 30 В/см и не зависела от рода окружающей среды (воздух, CO_2 , He, SF_6 , Ne) и ее давления. Нижний предел $E_{\text{п}}$ соответствует малым длинам нитей ($l \leq 0,5$ м). С увеличением длины промежутка $E_{\text{п}}$ растет и при $l = 4$ м составляет 25—30 В/см. Оценки температуры нитей, при которых происходит перекрытие поверхности, показали, что для всех использованных в работе марок УН (ВМН-2, ВМН-4, УТ-2, ТГИ-2 м, УТЭП-2, ТКК-2) она лежит в пределах от 800 до 2400 К. Энергия W' , выделившаяся в нити к моменту перекрытия, составляет 6—30 кДж/г. Следует отметить, что нить при этом сохраняется и в некоторых случаях может быть применена повторно (по крайней мере до энергии разряда 50—100 кДж).

Перекрытие угольной нити происходит следующим образом: при приложении напряжения через нить протекает ток; нить нагревается. При этом имеет место интенсивная ресорбция газов. По данным работы [5], углероды могут ресорбировать до $0,4 \text{ см}^3/\text{см}^3$ газа при нагреве до 2000°C . Эти газы образуют поверхностный горячий слой, отделяющий нить от окружающей среды. При достижении в слое достаточной проводимости (термоэмиссия из нити) часть разрядного тока переходит из нити в этот слой. Перераспределение тока приводит к еще большему разогреву его и пробую. Весь процесс перекрытия поверхности нити происходит в горячем слое, состоящем в основном из ресорбированных газов. Таким образом, исключается влияние рода окружающей среды и ее давления на величину $E_{\text{п}}$.

Исследования динамики развития пробоя теневым методом с синхронной регистрацией тока разряда подтвердили приведенную выше картину развития пробоя вдоль поверхности нити марки УТ-2 (фиг. 1, длина промежутка $l = 27$ см). На теневой развертке (фиг. 1, б) цифрой 1 показан момент отхода от поверхности слоя продуктов ресорбции и испарения материала. Испарение идет очень интенсивно. Диаметр нити увеличивается в 3—5 раз за счет разбухания волокон. Цифрой 2 обозначен момент пере-



Ф и г. 2



Ф и г. 3.

крытия нити, возникновения на ее поверхности плазмы и появления ударной волны. На осциллограмме тока (фиг. 1, а) появляется перегиб и второй максимум тока, вызванный резким падением сопротивления разрядной цепи. В этот момент оно определяется сопротивлением плазмы поверхностного разряда, которое много меньше сопротивления нити.

На фиг. 2 приведены зависимости сопротивления разрядного контура промежутка от времени при различных начальных напряжениях на конденсаторной батарее (15 кВ — 1, 17 кВ — 2, 20 кВ — 3, 26 кВ — 4). Кривая 1 соответствует временному ходу изменения сопротивления нити при импульсном нагреве без поверхностного пробоя. В этом случае сопротивление нити R_1 за 15—20 мкс уменьшается в 6 раз и стабилизируется на этой величине, оно характеризует динамическое сопротивление нити в разрядном контуре и определяет температуру нагрева и интенсивность процессов ресорбции и испарения материала нити. Кривая 2 соответствует зависимости $R(t)$ при $E = E_{п} = 15$ В/см, для 3 и 4 $E = 22—25$ и 35 В/см. Момент перекрытия определяется перегибом на кривой $R(t)$. При этом сопротивление промежутка за 10—15 мкс уменьшается от R_1 до R_2 (перепад примерно в 10 раз). С ростом напряженности сверх $E_{п}$ характер зависимости $R(t)$ не изменяется. Сокращается длительность состояния, соответствующего R_1 . При величине $E_{п} = 35—40$ В/см на кривой $R(t)$ исчезает участок, соответствующий R_1 , и сопротивление промежутка плавно падает от R_0 до R_2 за время 15—20 мкс. В этом случае на перекрытие вместе с термоэмиссией оказывает влияние автоэмиссия с многочисленных микроострий, покрывающих углеграфитную нить.

Между моментом приложения к промежутку напряжения и перекрытием поверхности нити имеет место временная пауза τ . При начальных малых сопротивлениях ($R_0 \sim 10—50$ Ом/м) и массах нитей 1—2 г/м τ не превышает 30—50 мкс. При $R_0 > 1$ кОм/м и 0,1—0,8 г/м $\tau = 1—5$ мкс, τ определяет длительность разогрева материала нити до температур интенсивного газовыделения и термоэмиссии. С ростом напряженности E сверх $E_{п}$ τ быстро уменьшается. На фиг. 3 приведен пример зависимости τ от напряжения для нити марки ТКК (длина промежутка $l = 50$ см, среда — воздух, $C = 27$ мкФ). При величине напряженности $E = 2E_{п}$ длительность τ уменьшается более чем на два порядка.

Если сравнивать разряд по поверхности углеграфитных нитей с другими способами инициирования протяженных разрядов, следует отметить ряд его преимуществ.

1. Низкое значение напряженности перекрытия. Пробой промежутка длиной 3—4 м может быть осуществлен при напряжении на конденсаторной батарее 20—25 кВ. Для электрического взрыва проволочек такой длины требуется 40—50 кВ.

2. Возможность подбора в широком диапазоне начального сопротивления разрядного промежутка (R_0 от 1 Ом/м и выше). Это позволяет осуществлять согласование нагрузки с источником энергии в виде индуктивного накопителя энергии и магнитокумулятивного генератора. При использовании этих источников энергии «перехват» накопленной энергии нагрузкой зависит от ее начального сопротивления [6, 7]. При сопротивлении нагрузки, много меньшем сопротивления размыкателя, можно существенно уменьшить потери в размыкателе и исключить затраты энергии на предварительный разогрев газоразрядной нагрузки до получения требуемой величины сопротивления.

3. При осуществлении разряда по поверхности угольных нитей отсутствует пауза тока, которая в случае ЭВП часто является причиной возникновения в контуре значительных перенапряжений.

4. При осуществлении открытых разрядов нить может быть применена для иницирования 3—4 последовательных разрядов.

Поступила 28 III 1979

ЛИТЕРАТУРА

1. Электрический взрыв проводников. Сборник под ред. А. А. Рухадзе. М., Мир, 1963.
2. Александров А. Ф., Рухадзе А. А. Сильноточные электроразрядные источники света.— УФН, 1974, вып. 112, с. 193.
3. Борович Б. Л., Григорьев П. Г., Зуев В. С., Розанов В. Б., Старцев А. В., Широких А. П. Экспериментальное и теоретическое исследование динамики излучающих электрических разрядов в газах.— Труды ФИАН «Лазеры и их применение», 1974, вып. 76, с. 3.
4. Физика быстро протекающих процессов. Т. 1. М., Мир, 1971.
5. Мармер Э. Н. Углеродистые материалы. М., Металлургия, 1973.
6. Кнопфель Г. Сверхильные импульсные магнитные поля. М., Мир, 1972.
7. Газовые лазеры. Под ред. Р. И. Солоухина, В. П. Чеботаева. Новосибирск, Наука, 1977.

УДК 538.4

О ВИНТОВОМ ГИДРОМАГНИТНОМ ДИНАМО

Ю. Б. Пономаренко

(Москва)

1. Для теории гидромагнитного динамо представляют интерес примеры самовозбуждения магнитного поля [1—6]. В винтовой модели динамо поле возбуждается разрывным осесимметричным движением [5, 6]. Ниже рассмотрен случай, когда осесимметричное движение может быть непрерывным.

Переход к непрерывному движению сопровождается возникновением большого числа нарастающих во времени решений задачи динамо.

Уравнение индукции (для среды с магнитной вязкостью, равной единице) есть

$$(1.1) \quad \partial \mathbf{H} / \partial t = \text{rot} [\mathbf{U} \times \mathbf{H}] + \Delta \mathbf{H},$$

где скорость \mathbf{U} задана.