

04;12

Двухканальная спиралеподобная дуга между графитовыми электродами при пониженном давлении

© В.Д. Шиманович, И.П. Смягликов, А.И. Золотовский,
С.М. Панковец, Н.И. Чубрик, С.В. Гончарик

Институт молекулярной и атомной физики НАН Беларуси, Минск

Поступило в Редакцию 30 декабря 1999 г.

Обнаружено, что электрическая дуга между графитовыми электродами ($I = 60\text{--}120\text{ А}$, $L = 3\text{--}6\text{ мм}$, $P_{\text{He}} = 1\text{--}500\text{ Торг}$) существует в двух отличающихся пространственно-временной структурой модах: стационарной с осесимметричным токопроводящим каналом и нестационарной с двумя спиралеподобными каналами, исходящими из анодного пятна и вращающимися с частотой $10\text{--}20\text{ кГц}$ вокруг боковых поверхностей цилиндрических электродов.

Изучение процессов синтеза фуллеренов [1] показало, что дуговой разряд при пониженном давлении буферного газа имеет две моды, переход между которыми происходит спонтанно и не зависит от параметров разряда. Первая мода является стационарной осесимметричной дугой, а вторая — нестационарным плазменным образованием с квазипериодическими пульсациями яркости. Соотношение длительности существования указанных мод, структура и частота пульсаций нестационарной стадии разряда зависят от давления, типа газа и тока дуги. При давлении гелия $P_{\text{He}} = 100\text{ Торг}$ дуга находится в стационарной и нестационарной модах приблизительно одинаковое время. При давлении ниже нескольких Торг существует только нестационарная мода. В [1] была высказана гипотеза о роли перегретой неустойчивости в формировании нестационарной моды дуги.

В настоящей работе с целью выяснения структуры нестационарной моды проведено исследование дуги в более широком диапазоне параметров разряда с применением методов высокоскоростной съемки в кадровом режиме и в режиме непрерывного сканирования изображений различных сечений дуги с временным разрешением до 10^{-6} с .

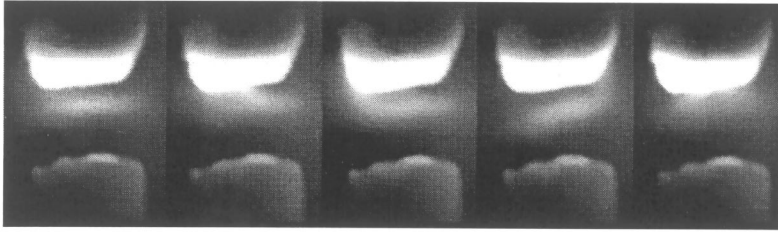


Рис. 1. Кадры киносъемки дуги ($I = 80 \text{ A}$, $P = 10 \text{ Torr}$) с частотой 50 picture/s и временем экспозиции 10^{-6} s .

На рис. 1 приведена последовательность кадров киносъемки дуги ($I = 80 \text{ A}$, $P = 10 \text{ Torr}$) с частотой 50 picture/s и временем экспозиции 10^{-6} s , исключающим возможность искажений изображений дуги вследствие неустойчивости [1]. Из рисунка видно, что дуговой канал искривлен и постоянно изменяет свое положение в пространстве. Кроме того, в разрядном промежутке отсутствуют продольные перемещения каких-либо светящихся объемов.

Анализ мгновенных изображений дуги (рис. 1), а также продольной и поперечной разверток, представленных на рис. 2, *a, b*, показал, что при указанных условиях дуга имеет два спиралеподобных канала, вращающихся вокруг боковых поверхностей цилиндрических электродов. Неодинаковая яркость каналов на продольной развертке обусловлена, по-видимому, ослаблением яркости дальнего от наблюдателя канала из-за поглощения и рассеяния его излучения центральной зоной дуги.

На рис. 2 схематически показана модель такой вращающейся дуги, а также полученные методом компьютерного моделирования развертки (рис. 2, *c, d*), соответствующие наблюдаемому в эксперименте. Принципиальное согласие экспериментальных данных и расчетов свидетельствует о возможности применения предложенной модели для описания поведения вращающейся дуги в изучаемом диапазоне режимов разряда.

Нестационарность исследуемой дуги может быть объяснена конкуренцией физических процессов, происходящих при поступлении с анода в разрядный промежуток паров и углеродных частиц и уносе их из зоны разряда. При уменьшении давления в плазме дуги с распределенной анодной привязкой, по-видимому, развивается перегревная неустойчивость,

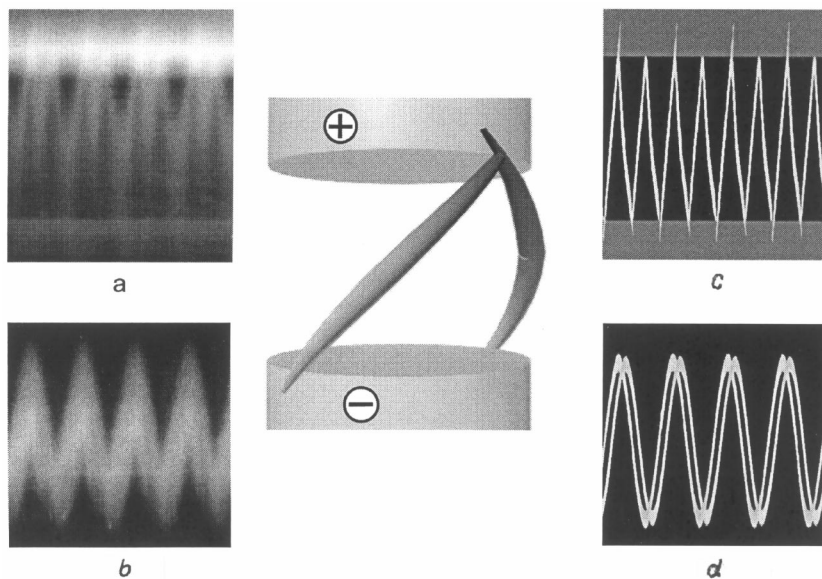


Рис. 2. Модель дуги между графитовыми электродами при пониженном давлении и непрерывные развертки излучения продольного (*a, c*) и поперечного (*b, d*) сечений дуги.

вследствие малого уноса тепла из дуги. При определенных параметрах разряда происходит быстрая ($\sim 10^{-5}$ s) перестройка стационарной дуги в нестационарную моду с образованием электродных пятен и контрагированных токопроводящих каналов, которые под действием магнитного поля выдуваются на боковую поверхность цилиндрических электродов и вращаются вокруг их оси.

Для повышения устойчивости вращающегося с большой скоростью спиралеподобного канала происходит его расщепление на два симметричных канала, исходящих из анодного пятна. Формирование двух токопроводящих каналов для повышения устойчивости плазменного образования наблюдалось нами ранее в [2].

Возникновение анодного пятна приводит к возрастанию эрозии и повышению парциального давления углерода в разрядном промежутке. Это, в свою очередь, способствует повышению уноса тепла из плазмы

разряда за счет лучистой и конвективной теплопроводности. В результате перегревная неустойчивость затухает и формируется стационарная осесимметричная мода. Переход из стационарной моды в нестационарную и обратно повторяется многократно в течение всего времени существования дугового разряда.

Косвенным подтверждением этому объяснению является наблюдаемая зависимость структуры дуги от давления буферного газа, а именно существование при давлении ниже нескольких Торр только двухканальной спиралеподобной вращающейся дуги. Это указывает на то, что величина уноса энергии из плазмы разряда при столь низком давлении недостаточна для подавления перегривной неустойчивости. Снижение лучистой и конвективной теплопроводности с уменьшением давления газа согласуется с общими представлениями о процессах переноса в газах и плазме.

Изучение соответствия областей фуллеренообразования в дуговом реакторе и поочередного существования осесимметричной и вращающейся спиралеподобной моды может быть весьма результативным направлением исследования механизмов формирования третьего аллотропического состояния углерода.

Работа выполнена при поддержке Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований (проект № Ф96-261).

Авторы выражают глубокую признательность Г.А. Дюжеву за полезные дискуссии.

Список литературы

- [1] Шиманович В.Д., Смягликов И.П., Золотовский А.И. // ИФЖ. 1998. Т. 71. С. 669–674.
- [2] Ажаронюк В.В., Губкевич В.А., Золотовский А.И. и др. // ИФЖ. 1986. Т. 50. № 3. С. 669–674.