

Наблюдение структуры свечения положительных стримеров в углекислом газе*

Д.В. Белоплатов¹, В.С. Скакун¹, Э.А. Соснин^{1,2}, В.А. Панарин¹, Д.А. Сорокин^{1,2}

¹Институт сильноточной электроники СО РАН, г. Томск, Россия

²Национальный исследовательский Томский государственный университет, г. Томск, Россия

Обнаружены различные зоны свечения головки стримера, формируемого в условиях апокампиического разряда в углекислом газе при давлении от 3 до 12 Торр и распространяющегося со скоростью $\sim 2 \cdot 10^7$ см·с⁻¹. Посредством время-разрешенной оптической диагностики обнаружено, что головка стримера состоит из основной ярко светящей зоны и предшествующей ей слабо светящей зоны, ранее названной нами предвестником. Временной лаг между зонами составляет несколько наносекунд. Предполагается, что свечение предвестника соответствует области некомпенсированного положительного заряда ионов и находится в непосредственной близости к фронту стримера, где напряженность электрического поля достигает максимального значения. Основная ярко светящая зона соответствует телу стримера. Найденные факты следует использовать для внесения дополнений в модель катодонаправленного стримера.

Ключевые слова: воздух, углекислый газ, апокампиический разряд, азот, стример, волна ионизации.

Введение

Формирование, моделирование и практическое использование стримерных разрядов в газовых средах – широко распространенные предметы исследований. Стримерный механизм пробоя присущ как природным [1, 2], так и лабораторным электроразрядным явлениям [3–5]. Стример представляет собой волну ионизации, которая формируется в условиях сильного внешнего электрического поля в слабоионизованной среде и распространяется со скоростями 10^5 – 10^9 см·с⁻¹. При этом за счет некомпенсированного электрического заряда в окрестности фронта ионизационной волны возникает сильное электрическое поле, обеспечивающее ионизацию среды перед собой, что позволяет волне продвигаться в область с более низкой напряженностью поля [6, 7].

Спектральное распределение энергии излучения плазмы стримера в воздухе атмосферного давления формируется, преимущественно, переходами второй положительной (2^+) системы молекулярного азота (N_2) и первой отрицательной системы (1^-) молекулярного иона азота (N_2^+) [8]. Как показали эксперименты [9, 10], проведенные для стримеров в воздухе при нормальных условиях, высвечивание указанных полос происходит не одновременно, а с задержкой по отношению друг к другу, что подтверждается теоретическими расчетами в работе [11], показывающими, что задержка высвечивания 2^+ системы N_2 по отношению к 1^- системе N_2^+ не превышает 400 пс.

На сложность происходящих в окрестности фронта ионизации процессов также указывают расчеты, выполненные в работах [12, 13], где показано, что фронт стримера (в двухмерной проекции по ходу его распространения) имеет сложную структуру: нестационарные и неравновесные процессы ускорения свободных электронов, ионизации и возбуждения, а также излучательной релаксации возбужденных состояний, которые реализуются на разных временных интервалах.

Сравнительно недавно [14] был исследован разряд при пониженных давлениях воздуха и была выявлена определенная структура свечения головки стримера: яркому свечению вблизи головки стримера предшествует менее яркий «предвестник», форма которого зависит от условий распространения. Таким образом, переход к низким давлениям позволил зафиксировать сложную структуру свечения стримера с помощью высокоскоростной съемки с наносекундным временным разрешением.

Проведенные исследования ставят вопрос о том, является ли обнаруженная структура свечения головки стримера универсальным его свойством или данное обстоятельство имеет место лишь в средах с определенным газовым составом.

Настоящая работа призвана проверить это предположение, используя в качестве среды, где формируются стримеры, углекислый газ. Научное значение этих исследований состоит в том, что мы углубляем наши знания о газоразрядных явлениях, а полученные данные в будущем можно

* Работа выполнена в рамках Государственного задания ИСЭ СО РАН, проект № FWRM-2021-0014.