

Распад плазмы высоковольтного наносекундного разряда в газообразных углеводородах

М.А. Попов, Е.М. Анохин

Московский физико-технический институт (государственный университет)

Исследование воздействия разрядной плазмы на воспламенение и горение углеводородов является одним из перспективных направлений в области низкотемпературной плазмы [1]. С помощью разрядной плазмы удалось существенно ускорить воспламенение топлива, расширить область параметров, при которых возможно воспламенение и поддержание горения, и сократить вредные выбросы [2]. Для выяснения механизмов влияния плазмы на воспламенение и горение и для оптимизации этих эффектов в реальных энергетических системах необходимо уметь моделировать процессы в плазме углеводородных смесей. Для этого, в частности, надо знать коэффициенты электрон-ионной рекомбинации, которые определяют время жизни плазмы и могут влиять на плотность плазмы и наработку атомов и радикалов во время разряда.

Было проведено экспериментальное и расчетно-теоретическое исследование распада плазмы в метане, этане и пропане. В качестве источника плазмы использовался высоковольтный наносекундный разряд. Эксперименты проводились в диапазоне давлений газа 2-8 Торр при комнатной температуре. Концентрация электронов измерялась двухканальным СВЧ-интерферометром с рабочей частотой 94 ГГц. Экспериментальная установка и методы измерений подробно описаны в [3].

В ряде случаев для увеличения скорости релаксации энергии электронов к углеводородам добавлялся углекислый газ (не более 10%). Это позволяло изучать распад плазмы заведомо после остывания электронов до комнатной температуры. Это становится возможным из-за наличия у молекулы CO_2 низколежащих колебательных уровней, которые эффективно возбуждаются в процессах энергообмена с электронами. Релаксация энергии электронов в газовых смесях с наличием CO_2 происходит за доли наносекунды, в то время как наблюдаемый распад плазмы - за время 1-5 мкс.

В результате была исследована динамика изменения плотности электронов при распаде плазмы высоковольтного наносекундного разряда в газообразных углеводородах при указанных условиях. Зависимость обратной плотности от времени носит линейный характер, что указывает на преобладание парных процессов электрон-ионной рекомбинации. Однако определенные по экспериментальным данным эффективные коэффициенты рекомбинации оказались примерно на порядок величины выше, чем

коэффициенты диссоциативной рекомбинации соответствующих простых углеводородных ионов. Также значения эффективных коэффициентов рекомбинации увеличивались с ростом давления. Все это может указывать на важную роль образования комплексных ионов в углеводородных смесях.

Литература:

1. *Samukawa S., Hori M., Rauf S.* [et al.], The 2012 Plasma Roadmap, J. Phys.D: Appl. Phys. 45, 253001 (2012)
2. *Starikovskiy A., Aleksandrov N.*, Plasma-assisted ignition and combustion, Progress in Energy and Combustion Science 39, 61-110 (2013)
3. *Александров Н.Л., Анохин Е.М.*, [и др.], Распад плазмы высоковольтного наносекундного разряда в воздухе, Физика плазмы 38, 200-208 (2012)