Исследование рекомбинации электронов с гидратированными ионами в послесвечении наносекундного разряда

Попов М.А., Анохин Е.М., Кочетов И.В.1, Стариковский А.Ю.2, Александров Н.Л.

Московский физико-технический институт, maksim.popov@phystech.edu
1ТРИНИТИ, kochet@triniti.ru
2Принстонский университет, astariko@princeton.edu

Неравновесная разрядная плазма, генерируемая в парах воды, влажном воздухе и других Н2О-содержащих газовых смесях, представляет интерес для атмосферного электричества, разрядов при наличии воды (разряды с жидкими электродами, в пузырях и пене) и широко используется в современных технологиях (от очистки воздуха до плазменной медицины). Для моделирования свойств такой плазмы необходимо знать константы скорости элементарных процессов. Одним из основных процессов гибели заряженных частиц является диссоциавная рекомбинация электронов с положительными молекулярными ионами, которая определяет время жизни плазмы и влияет на плотность плазмы и наработку атомов и радикалов во время разряда. В плазме, создаваемой в парах воды и Н2О-содержащих газовых смесях, доминирующими положительными ионами являются гидратированные ионы Н3О+(Н2О)k. Информация о коэффициентах диссоциативной рекомбинации для этих ионов известна только при k < 6 [1]. В то же время данные по скорости рекомбинации более сложных гидратированных ионов необходимы при моделировании свойств плазмы влажного воздуха и смесей паров воды с инертными газами при атмосферном давлении, когда доминирующими являются ионы с k = 6-7 [2].

В данной работе для определения коэффициентов рекомбинации гидратированных ионов Н3О+(Н2О)k с k > 5 было выполнено экспериментальное и расчетно-теоретическое исследование распада плазмы в Н2О:N2 и H2O:O2 смесях при различных парциальных долях паров воды. Эксперименты проводились в диапазоне давлений газа 2-20 Торр при комнатной температуре газовых смесей. Концентрация электронов измерялась двухканальным СВЧ-интерферометром с рабочей частотой 94 ГГц. В качестве источника плазмы использовался высоковольтный наносекундный разряд с амплитудой импульса 25 кВ и длительностью 30 нс. Зависимость концентрации электронов от времени измерялась СВЧ-интерферометром для начальных концентраций электронов в диапазоне (1-3)×1012 см-3.

Измерения показали, что скорость распада плазмы увеличивается с ростом парциального давления паров воды и полного давления в газовых смесях. Проведенное численное моделирование кинетических процессов при распаде плазмы показало, что это связано с увеличением размеров гиратированных ионов при росте доли паров воды в смесях. При этом образование гидратированных ионов происходит во время распада плазмы. Поскольку они образуются в тройных процессах конверсии кластерных ионов, то с ростом полного давления их эффективность растет. Моделирование термализации электронов после разряда показало, что электроны успевают остыть до комнатной температуры, прежде чем происходит их рекомбинация с положительными ионами. Из анализа результатов измерения динамики распада плазмы сделаны выводы о константах скорости образования сложных гидратированных ионов и о коэффициентах их рекомбинации с термализованными электронами.

Работа частично поддержана грантом РФФИ № 17-02-00481.

Литература.

1. Florescu-Mitchell A.I., Mitchell J.B.A., Phys. Rep. 430 (2006) 277.
2. Sieck L.W., Herron J.T., Green D.S., Plasma Chem. Plasma Proc. 20 (2000) 235.