

04;12

Исследование характеристик поперечного объемного разряда в смеси Ne—SF₆—C₆H₁₄

© А.К. Шуаибов, А.И. Миня, З.Т. Гомоки, Л.Л. Шимон

Ужгородский национальный университет,
88000 Ужгород, Украина
e-mail: ishev@univ.uzhgorod.ua

(Поступило в Редакцию 26 декабря 2006 г.)

Приведены результаты исследования электрических и эмиссионных характеристик плазмы поперечного объемного разряда в смесях неона с молекулами элегаза и пропана при общем давлении 3–12 кПа. Изучены пространственные характеристики разряда, спектры излучения плазмы и диапазоне 130–550 nm, осциллограммы напряжения и тока поперечного объемного разряда, а также выход углеродсодержащего сырья, получаемого при распаде пропана при разных давлениях и составах смеси Ne-SF₆-C₆H₁₄.

PACS: 52.80.-s

Исследование плазмы поперечного объемного разряда (ПОР) в газовых средах на основе элегаза и водородсодержащих соединений актуально в связи с применением этих молекул в химических лазерах, работающих на колебательно-вращательных переходах молекул HF и HD. Спектр такого лазерного излучения попадает в окно прозрачности атмосферы и представляет значительный интерес для различных применений. Поэтому в последнее время интенсивно изучаются эти химические лазеры как в экспериментальном плане [1,2], так и на теоретическом уровне [3,4].

Диагностика отработанной газовой смеси нецепного HF-лазера с иницированием поперечным объемным разрядом химической реакции в смеси SF₆-H₂ проводилась в инфракрасной области спектра [5]. Эксперименты показали, что в этой смеси образуются молекулы SF₄ (линии поглощения в спектральном диапазоне 532–892 см⁻¹), а при наличии в исходной смеси небольших примесей паров воды в смеси эффективно образуются молекулы SOF₂, SOF, SOF₄ и SO₂F₂. Данные по анализу УФ-излучения плазмы поперечного разряда на смесях элегаза с углеродсодержащими молекулами, которые являются наиболее эффективными носителями водорода в химических лазерах, отсутствуют, поэтому эмиссионная диагностика вышеуказанных смесей является актуальной.

Кроме того, плазма ПОР на основе молекул пропана и элегаза может представлять интерес для получения фуллеренсодержащего сырья и нанопорошков, а также в реакторах сухого травления. Использование плазмохимического реактора на основе ПОР для синтеза материалов, которые используются в нанотехнологиях, имеет ряд преимуществ по сравнению с дуговым разрядом и лазерной плазмой.

Ресурс работы электроразрядных HF- и HD-лазеров в газостатических условиях сравнительно низкий (10²–10³ импульсов) и определяется скоростью деградации молекул элегаза и пропана в плазме ПОР. Для поиска путей увеличения эффективности и ресурса работы

химических лазеров на нецепных реакциях необходимо более детальное экспериментальное изучение плазмы ПОР на основе смесей инертных газов с молекулами элегаза и пропана. Одним из возможных методов диагностики такой плазмы является спектроскопический метод излучения, который позволяет частично установить качественный состав плазмы и основные направления деградации молекул рабочей смеси. На первом этапе исследований было проведено изучение эмиссионных характеристик ПОР на основе пропана [6].

В настоящей статье представлены результаты исследования характеристик плазмы поперечного объемного разряда в смесях неона с молекулами элегаза и пропана.

Поперечный объемный разряд зажигался в ячейке из капролактама. Ячейка представляла собой цилиндр диаметром 4 и длиной 12 см. Излучение регистрировалось из торцевого участка ячейки, которая отделялась от вакуумного монохроматора окном из LiF. Внутри ячейки установлены электроды ПОР длиной 10 см с радиусом кривизны 4 см. Межэлектродное расстояние в ячейке составляло 1.5 см. Для УФ-предыонизации использовалась система из двух искровых линеек, установленных возле одного из электродов ПОР. Коммутатором в системе питания служил водородный тиратрон ТГИ1-1000/25. Основная и накопительная емкости LC-инвертора изготовлены из малоиндуктивных конденсаторов КВИ-3. Величина емкости накопительного и обострительного конденсаторов составляла 32 и 6.5 нФ соответственно.

Излучение плазмы ПОР анализировалось в спектральном диапазоне 130–550 nm. Излучение поступало на входную щель вакуумного монохроматора с дифракционной решеткой на 1200 line/mm и обратной линейной дисперсией 0.7 nm/mm. Для детектирования излучения применялись фотоумножители ФЭУ-142 и ФЭУ-154, сигнал с которых поступал на усилитель постоянного тока и регистрировался на диаграммной ленте самописца. Частота следования импульсов возбуждения ПОР составляла 1–10 Hz. Осциллограммы импульсов напря-

жения и тока ПОР регистрировались с использованием малоиндуктивных калиброванных делителей и пояса Роговского, сигналы с которых поступали на вход быстродействующего импульсного осциллографа БЛОР-04.

Объем плазменной среды на смеси $\text{Ne-SF}_6\text{-C}_6\text{H}_{14}$ между электродами был минимальным в начальной стадии горения разряда на свежеприготовленной смеси. Разряд при этом имел ширину до 0.8 см и светился отдельными 2–3 диффузными каналами (белофиолетового цвета), что определялось наличием в смеси электроотрицательного газа и что также нами ранее наблюдалось при исследовании ПОР в средах с элегазом. При содержании пропана в смеси 300–500 Па и общем ее давлении 10–12 кПа после $(1-1.5) \cdot 10^3$ импульсов цвет разряда определялся уже излучением синей полосы 468 нм молекулы $\text{C}_2(d-a)(5-6)$. Это указывает на образование значительного количества молекул углерода на высоковозбужденных колебательных уровнях электронных состояний d и a . После наработки $(3-5) \cdot 10^3$ импульсов ширина разряда уменьшалась до 0.4 см.

Типичный спектр излучения плазмы ПОР в УФ–ВУФ-области на смеси неона с молекулами элегаза и пропана представлен на рис. 1. Он полностью определяется продуктами разрушения пропана, среди которых можно выделить соединения CH_2 , C_2H_2 , C_2H_4 , C_4H_2 и др. В качестве реперных полос, по которым возможно контролировать деградацию пропана по излучению плазмы в УФ–ВУФ-диапазоне длин волн могут быть выбраны полосы 182, 183, 193 и 248 нм. Яркости этих полос излучения уменьшались при увеличении содержания пропана в смеси.

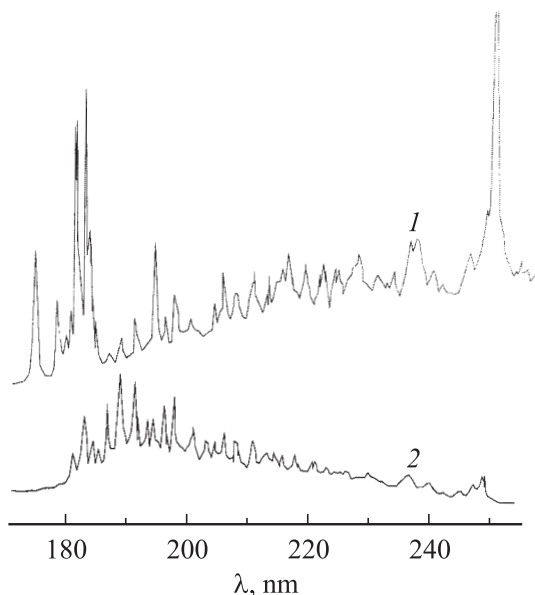


Рис. 1. Спектр излучения плазмы ПОР на смеси: 1 — $\text{Ne-SF}_6 = 10.6-1.0$, 2 — $\text{Ne-SF}_6\text{-C}_6\text{H}_{14} = 10.6-0.5-0.2$ кПа.

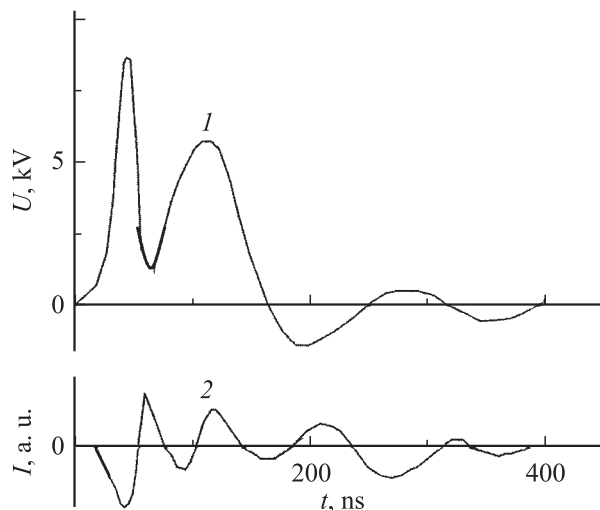


Рис. 2. Осциллограммы напряжения (1) и тока (2) ПОР на смеси $\text{P}(\text{Ne})\text{-P}(\text{SF}_6)\text{-P}(\text{C}_6\text{H}_{14}) = 10.6-1.3-0.4$ кПа при зарядном напряжении основного накопительного конденсатора 8.5 кВ.

На рис. 2 приведены типичные осциллограммы импульсов напряжения на разрядном промежутке и тока ПОР в смеси $\text{Ne-SF}_6\text{-C}_6\text{H}_{14}$. В диапазоне зарядных напряжений 4–10 кВ при парциальных давлениях неона 3–12, элегаза 0.1–1.0 и пропана 0.1–0.3 кПа зажигался устойчивый ПОР. Длительность первой (основной) полуволны импульсов напряжения и тока находилась на уровне 50 ns. Максимальная пиковая величина тока ПОР достигалась на уровне 8–10 кА. По времени она была сдвинута относительно максимума первой полуволны напряжения между электродами на 40–50 ns. В эксперименте достигались пиковые мощности, которые вкладывались в плазму, в диапазоне 10–20 МВт. В результате такой интенсивной накачки наблюдалось достаточно эффективное разрушение молекул элегаза и пропана, при этом все внутренние поверхности разрядной ячейки покрывались мелкодисперсной углеродистой пленкой черного цвета. После отработки на 5–7 смесях $\text{P}(\text{Ne})\text{-P}(\text{SF}_6)\text{-P}(\text{C}_6\text{H}_{14}) = (10 \dots 12) - (1.0 \dots 1.2) - (0.1 \dots 0.3)$ кПа в течение 1.5–2.0 h (на каждой свежеприготовленной смеси при $f = 10$ Hz) выход углеродсодержащего сырья достигал 0.3–0.5 см³.

Таким образом, исследование характеристик ПОР в смеси $\text{Ne-SF}_6\text{-C}_6\text{H}_{14}$ показало, что при умеренном зарядном напряжении ($U = 4-10$ кВ) пиковая электрическая мощность разряда достигает 20 МВт, что приводит к распаду молекул элегаза и пропана вплоть до выпадения в осадок мелкодисперсного сырья, которое может представлять интерес для современных нанотехнологий. В качестве диагностических полос в УФ–ВУФ-диапазоне спектра могут быть использованы полосы продуктов распада пропана с длиной волны в максимуме при 193 и 248 нм.

Список литературы

- [1] Алексеев С.Б., Wang Lijun, Ерофеев М.В., Lin Jingru и др. // ПТЭ. 2003. № 2. С. 90–92.
- [2] Панченко А.Н., Орловский В.М., Тарасенко В.Ф. // ЖТФ. 2003. Т. 73. Вып. 2. С. 136–139.
- [3] Ястремский А.Г., Ямпольский С.А. // Изв. вузов. Физика. 1999. № 8. С. 63–66.
- [4] Аполлонов В.В., Белевцев А.А., Казанцев С.Ю., Сайфулин А.В. и др. // Квантовая электроника. 2001. Т. 31. № 7. С. 629–633.
- [5] Внуков А.В., Величко А.М., Мальцев К.К., Надейкин А.А., Никитин А.И. // Химическая физика. 1992. Т. 11. № 8. С. 1038–1048.
- [6] Шуаибов А.К., Сабов И.И., Гомоки З.Т., Шимон Л.Л. // Письма в ЖТФ. 2006. Т. 32. Вып. 15. С. 35–39.