

02;04;07;12

## Электроразрядный ВУФ-излучатель на парах воды

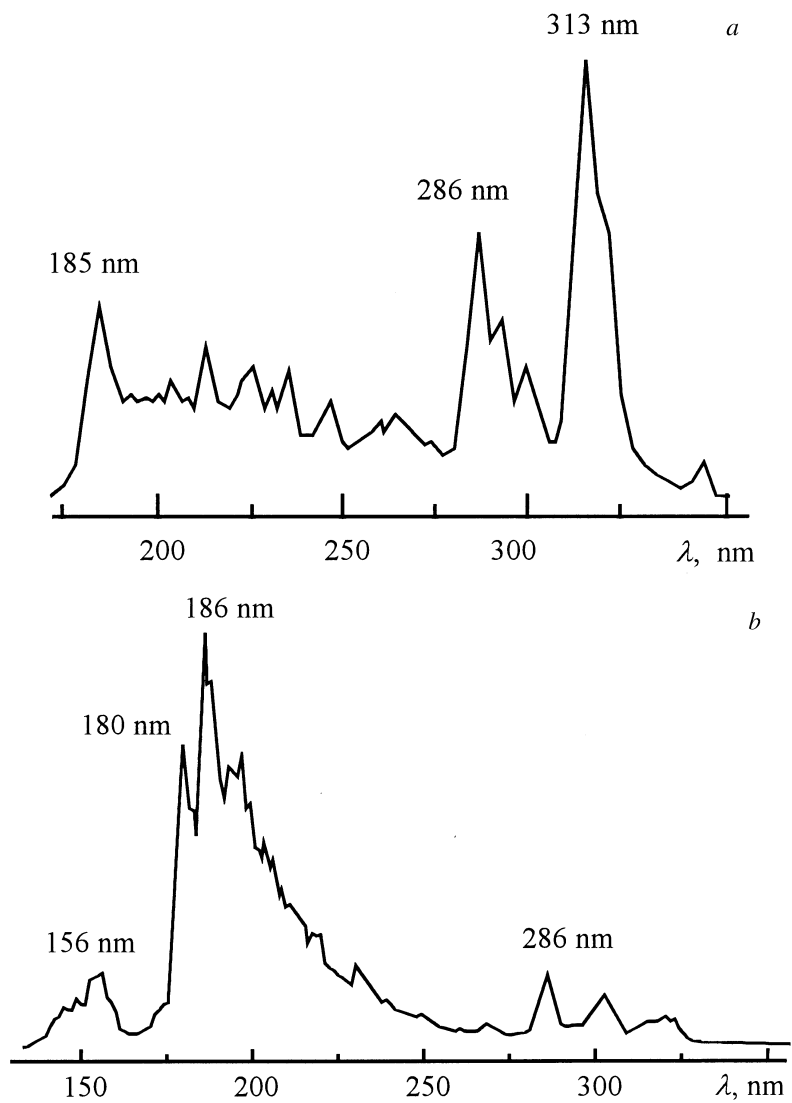
© А.К. Шуаибов, Л.Л. Шимон, А.И. Дащенко, И.В. Шевера

Ужгородский национальный университет  
E-mail: ishev@univ.uzhgorod.ua

Поступило в Редакцию 21 февраля 2001 г.

Представлены результаты исследования излучения плазмы продольного тлеющего разряда постоянного тока на парах воды ( $P = 0.05 - 2.5$  кПа) в области  $\Delta\lambda = 130 - 350$  nm. Показано, что при низком давлении паров воды разряд является источником ВУФ-излучения в диапазоне 140–190 nm. С увеличением давления паров до 2.5 кПа яркость излучения разряда уменьшалась на 1–2 порядка, а основными в спектре становились полосы с  $\lambda = 286; 306-315$  nm. Зарегистрированные полосы излучения продуктов распада молекул воды коррелируют с положением кантов полос молекулы гидроксила. Полученные результаты представляют интерес для разработки простого ВУФ-излучателя на парах воды.

Продукты диссоциации молекул воды в тлеющем или высокочастотных разрядах являются активной средой экологически чистых источников УФ-излучения с  $\lambda = 306.4$  nm ОН (А–Х; 0–0) [1,2]. При определенных условиях данная полоса является преобладающей в спектрах излучения ( $\Delta\lambda = 300 - 1000$  nm) соответствующих разрядов на смесях инертных газов с молекулами воды. Для подавления образования комплексных соединений на основе радикала ОН или молекулы  $H_2O$ , снижающих эффективность генерации на резонансной полосе ОН и ухудшающих стабильность разряда, в [3] рекомендовано выбирать минимальные концентрации паров воды. Но оптические характеристики тлеющего разряда в парах воды (в том числе и насыщенных при комнатных температурах) в вышеперечисленных работах не приводятся. Для ряда применений в медицине [4] необходимо использование источников с  $\lambda \leq 220$  nm. В системе переходов радикала ОН имеются такие полосы ( $\lambda = 179.1$  nm ОН (С–А) и 122.3 nm ОН (D–X)), но как их яркость соотносится с яркостью резонансного перехода ОН (А–Х) не ясно. Поэтому исследование излучения плазмы на основе молекул



**Рис. 1.** Спектры излучения плазмы тлеющего разряда в парах воды при  $P = 2.5$  (a) и (0.05–0.15) (b) кПа.

Яркости ( $J$ ) полос излучения плазмы на парах воды при разных давлениях

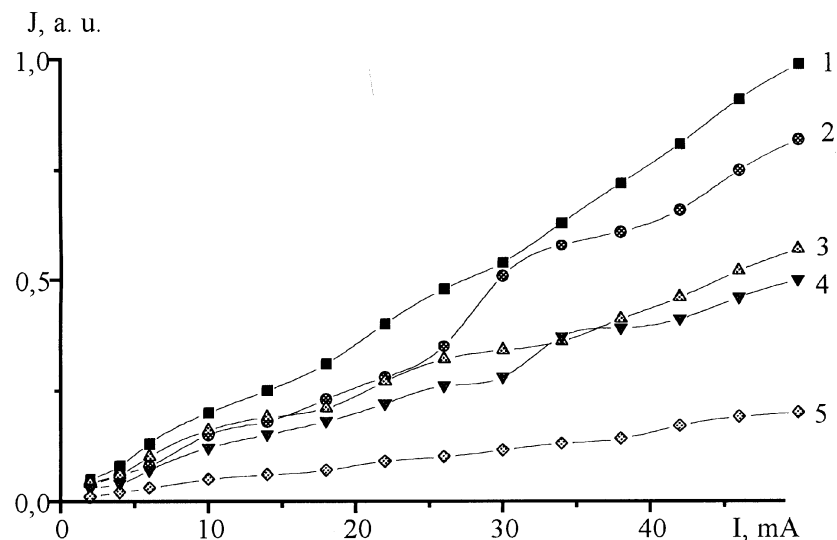
$\lambda$ , nm	156	180–186	286	306–315
$J$ , а.е. ( $P_{\text{H}_2\text{O}} = 0.1$ kPa)	610	920	54	90
$J$ , а.е. ( $P_{\text{H}_2\text{O}} = 2.5$ kPa)	$\leq 1$	4	10	32

$\text{H}_2\text{O}$  в достаточно широкой области спектра и значительном диапазоне изменения плотности паров воды является актуальным.

В настоящей работе представлены результаты исследования оптических характеристик плазмы тлеющего разряда на парах воды в области 130–350 nm.

Продольный разряд постоянного тока зажигался в кварцевой трубке. Межэлектродное расстояние равнялось 50 mm, а внутренний диаметр трубки — 7 mm. Разрядная трубка размещалась в буферной камере объемом 10 л. Камера через окно из  $\text{CaF}_2$  была состыкована с полуметровым вакуумным монохроматором. Спектральное разрешение составляло 0.7 nm. Система регистрации излучения была аналогична описанной в [5,6]. Для получения тлеющего разряда применялся высоковольтный выпрямитель ( $I_{ch} \leq 100$  mA). Пары воды поступали из отдельного баллона ( $P = 50 - 150$  Pa) или в камере размещался резервуар с дистиллированной водой для получения насыщенных паров воды при комнатных температурах ( $P = 1.5 - 2.5$  kPa).

При разрядных токах  $I_{ch} \geq 30$  mA тлеющий разряд в насыщенных парах воды существовал в нормальном режиме. Мощность, вкладываемая в плазму, достигала 40–50 W. При малой плотности паров воды разряд существовал в виде стоячих страт с расстоянием между максимумами светлых полосок 5–7 mm. На рис. 1 представлены спектры излучения плазмы тлеющего разряда в насыщенных и ненасыщенных парах воды. При большой плотности паров основными в спектре были полосы излучения с  $\lambda_{\text{max}} = 185; 264; 286$  и 306–315 nm. Уменьшение давления паров воды приводило к значительному перераспределению яркости полос. Основными при этом становятся широкие полосы в ВУФ-области длин волн с  $\lambda_{\text{max}} = 180/186$  и 156 nm. При всех исследуемых в работе условиях существенную часть паров воды составляют кластеры  $(\text{H}_2\text{O})_n$  [3], а основным продуктом распада молекул воды и их комплексов являются радикалы  $\text{OH}$  [7] или кластеры на



**Рис. 2.** Зависимость яркости полос излучения плазмы на парах воды от величины тока разряда ( $P = 0.15 \text{ kPa}$ ): 156 (1), 180 (2), 186 (3), 286 (4) и 306–315 nm (5).

основе молекул гидроксила. Наиболее сильное влияние кластеров на оптические характеристики разряда наблюдается в насыщенных парах воды (рис. 1, а). В этом случае наиболее яркой в спектре излучения была полоса с  $\lambda = 313 \text{ nm}$  и шириной  $\Delta\lambda_{1/2} = 9 \text{ nm}$ . Канты других полос сдвинуты относительно кантов характеристических полос 179.1 nm OH(C–A) (полоса с  $\lambda_{\text{max}} = 180/186 \text{ nm}$ ); 278 nm OH(B–A) (полоса  $\lambda_{\text{max}} = 286 \text{ nm}$ ). Наиболее коротковолновая полоса  $\lambda = (143–164) \text{ nm}$  коррелируется с OH(B–X). Данные полосы могут определяться излучением возбужденных комплексных молекул  $(\text{OH})_n^* \cdot (\text{H}_2\text{O})_m$  (где  $n \geq 2$ ;  $m \geq 0$ ). В таблице приведены яркости полос излучения плазмы тлеющего разряда в парах воды при разных давлениях. На яркость наиболее коротковолновых полос ( $\lambda_{\text{max}} = 156; 180/186 \text{ nm}$ ) влияние плотности паров воды было наиболее сильным. Из таблицы следует, что при малой плотности паров воды тлеющий разряд является источником излучения в области 140–190 nm, что может быть использовано для

разработки простых источников ВУФ-излучения. По эффективности и мощности излучения источник излучения на основе паров воды близок к эксимерной лампе на  $\lambda = 175 \text{ nm}$  AgCl. Такие излучатели не требуют применения инертных газов и представляют интерес для работы в режиме прокачки рабочей среды.

Зависимости яркости излучения всех характеристических полос излучения плазмы на основе воды от величины  $I_{ch}$  были близкими к линейным (рис. 2). При увеличении разрядного тока с 3 до 50 мА все яркости полос увеличивались, что указывает на преобладание в исследуемой среде прямых процессов электронного возбуждения.

Таким образом, показано, что в области длин волн 130–350 nm тлеющий разряд в насыщенных парах воды состоит из ряда широких полос ( $\lambda_{\text{max}} = 313; 286 \text{ nm}$ ); с уменьшением давления паров воды до 50–150 Па основными в спектрах излучения становятся широкие молекулярные полосы (коррелирующиеся с С–А и В–Х переходами радикала ОН), представляющие интерес для разработки экологически чистого излучателя для области 140–190 nm.

## Список литературы

- [1] Вуль А.Я., Кидалов С.В., Миленин В.М., Тимофеев Н.А. и др. // Письма в ЖТФ. 1999. Т. 25. В. 1. С. 10–16.
- [2] Вуль А.Я., Кидалов С.В., Миленин В.М., Тимофеев Н.А. и др. // Письма в ЖТФ. 1999. Т. 25. В. 8. С. 62–67.
- [3] Миленин В.М., Тимофеев Н.А., Вуль А.Я., Кидалов С.В. и др. // Письма в ЖТФ. 2000. Т. 26. В. 18. С. 63–67.
- [4] Солошенко И.А., Циолко В.В., Хомич В.В., Щедрин А.И. и др. // Физика плазмы. 2000. Т. 26. № 26. В. 9. С. 845–853.
- [5] Шуаибов А.К., Дащенко А.И. // Квантовая электроника. 2000. Т. 30. В. 3. С. 279–281.
- [6] Шуаибов А.К., Шимон Л.Л., Дащенко А.И., Шевера И.В. // ТВТ. 2000. Т. 38. № 3. С. 386–389.
- [7] Баранов Г.А., Зинченко А.К., Леднев М.Г., Подтыкин Ф.П. // Хим. выс. энергий. 1988. Т. 22. № 6. С. 532–536.