

## Стационарный излучатель в диапазоне 130–190 нм на основе плазмы паров воды

А.К.Шуаибов, А.И.Дашенко, И.В.Шевера

*Представлены характеристики непрерывного источника излучения с накачкой продольным тлеющим разрядом на смеси He–H<sub>2</sub>O. Показано, что при давлении паров воды ~50–300 Па и давлении гелия 1.0–8.0 кПа исследуемый разряд излучает преимущественно в диапазоне 130–190 нм. Оптимальное давление паров воды находится в интервале 50–150 Па, а оптимальное парциальное давление гелия составляет 1.0 кПа. В диапазоне токов разряда 3–50 мА наблюдалось линейное увеличение яркости основных полос излучения с током.*

**Ключевые слова:** излучатель, вакуумное ультрафиолетовое излучение, тлеющий разряд, гидроксил.

Электроразрядные излучатели на  $\lambda = 308$  нм (XeCl) и 222 нм (KrCl) с накачкой тлеющим разрядом постоянного тока являются эффективными и достаточно мощными источниками стационарного излучения [1, 2], что важно для использования в микроэлектронике, фотохимии и медицине. Для продвижения в область длин волн  $\lambda < 200$  нм и замены дорогостоящей рабочей среды на основе атомов криптона и ксенона перспективны рабочие среды на основе паров воды, где в качестве активной среды выступают радикалы OH\*.

В [3] сообщалось о разработке экологически чистого излучателя OH ( $A - X; 0 - 0$ ) на  $\lambda = 306.4$  нм с накачкой тлеющим или высокочастотным разрядом. В смеси типа Ar–H<sub>2</sub>O при удельном содержании паров воды порядка  $10^{14} - 10^{16}$  см<sup>-3</sup> резонансная полоса гидроксила была преобладающей в спектральной области 300–1000 нм, а КПД лампы достигал 25%. Возможности использования подобных активных сред в вакуумной УФ (ВУФ) области в [3] не рассматривались.

В настоящей работе исследуется стационарный электроразрядный излучатель на смеси He–H<sub>2</sub>O. Продольный тлеющий разряд зажигался в кварцевой трубке с внутренним диаметром 7 мм. Расстояние между полыми цилиндрическими электродами составляло 50 мм. Разрядная трубка устанавливалась в буферной камере объемом 10 л, которая через окно из CaF<sub>2</sub> была состыкована с полуметровым вакуумным спектрометром. Его спектральное разрешение составляло 0.7 нм. Система регистрации излучения более детально описана в работах [4, 5]. Пары воды поступали в смеситель из отдельного баллона. Для получения разряда применялся высоковольтный выпрямитель с  $U < 30$  кВ и  $I < 100$  мА. Под яркостью полосы излучения понималась площадь под соответствующей кривой на диаграммной ленте, исправленная с учетом относительной спектральной чувствительности вакуумного спектрометра.

Тлеющий разряд белого цвета в парах воды при дав-

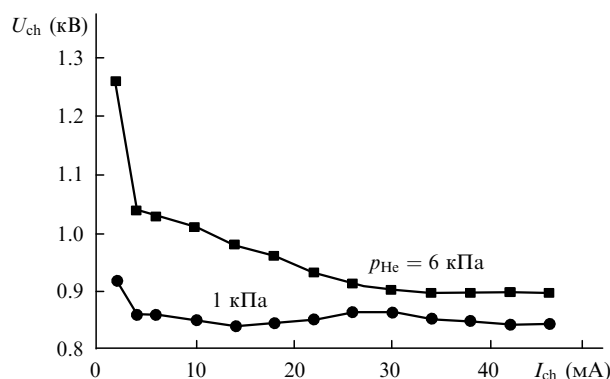


Рис.1. Вольт-амперные характеристики тлеющего разряда в смесях состава He:H<sub>2</sub>O =  $p_{He}:0.15$  кПа при разных парциальных давлениях гелия  $p_{He}$ .

лении  $p = 50 - 300$  Па однородно заполнял весь внутренний объем разрядной трубки. При низких давлениях паров (менее 50 Па) в разряде наблюдались неподвижные страты с расстоянием между светлыми полосками 5–7 мм. Небольшие добавки гелия порядка 0.3–0.5 кПа переводили разряд в однородное состояние. При малых разрядных токах ( $I_{ch} < 30$  мА) спад напряжения на электродах значительно уменьшался с ростом  $I_{ch}$  (так называемый поднормальный режим горения) [6]. При  $I_{ch} > 30$  мА разряд переходил в нормальный режим работы (рис.1). С увеличением парциального давления гелия в смеси наблюдался рост потенциала зажигания и квазистационарного напряжения  $U_{ch}$  при больших разрядных токах. Мощность, вкладываемая в плазму, достигала 40–45 Вт.

В настоящих экспериментах  $U_{ch}$  было на порядок выше, а  $I_{ch}$  – на порядок ниже, чем в [3]. При таких условиях накачки распределение интенсивности в спектрах излучения плазмы на смеси He–H<sub>2</sub>O (рис.2) характеризуется яркими полосами в ВУФ области на  $\lambda_{max} = 156, 180$  и 186 нм, а излучение в области 306–315 нм не является преобладающим. ВУФ полосы излучения могут быть отождествлены с излучением радикалов OH ( $C - A, B - X$ ) [3].

Наиболее сильное влияние на излучение полос в ВУФ области спектра оказывает давление паров воды. С уве-

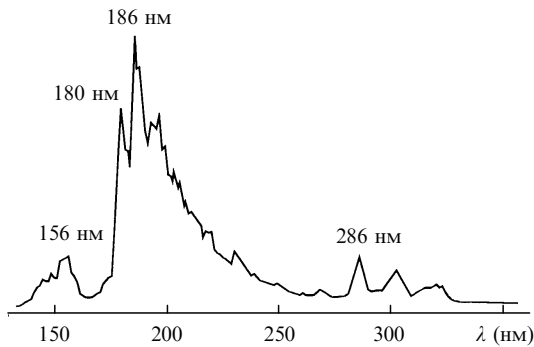


Рис.2. Спектр излучения плазмы на смеси состава  $\text{He}:\text{H}_2\text{O} = 1.0:0.15$  кПа.

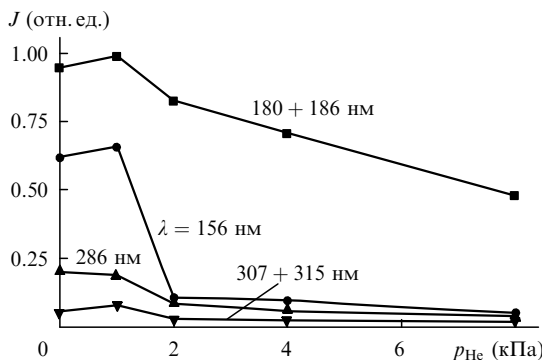


Рис.3. Зависимости яркости  $J$  характеристических полос излучения плазмы на смеси  $\text{He}-\text{H}_2\text{O}$  от  $p_{\text{He}}$  при давлении паров воды 50–150 Па и  $I_{\text{ch}} = 50$  мА.

личением давления паров воды до 1.0–2.5 кПа яркость ВУФ излучения уменьшалась в 50–100 раз, а основной становилась широкая полоса в области 307–315 нм. Положение максимумов на данной полосе не соответствует положению максимумов известных полос ОН ( $A-X$ ). В плазме высокочастотного разряда тоже наблюдалась подобная широкая полоса с максимумом на  $\lambda = 309.1$  нм [7]. Данное излучение может быть связано со спонтанным распадом кластерных молекул вида  $(\text{OH})_n^*$  (где  $n \geq 2$ ).

Увеличение парциального давления гелия в смеси  $\text{He}-\text{H}_2\text{O}$  с низкой плотностью паров воды приводило к уменьшению яркости всех характеристических полос (рис.3). Наиболее сильным было влияние гелия на яркость полосы с  $\lambda = 156$  нм. Оптимальное парциальное давление гелия в разряде на смеси  $\text{He}-\text{H}_2\text{O}$  составляло 1.0 кПа. В рабочем диапазоне токов разряда все зависимости яркости полос от тока были линейно возрастающими без признаков насыщения скорости роста яркости

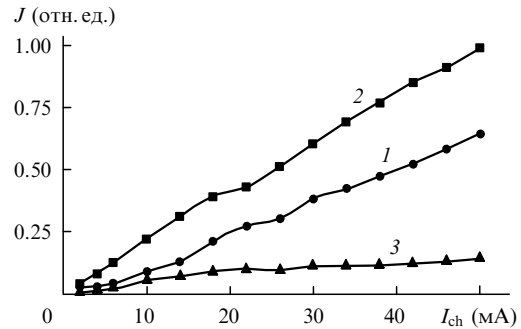


Рис.4. Зависимости яркости  $J$  излучения полос с  $\lambda = 156$  (1) и 186 нм (2,3) от тока  $I_{\text{ch}}$  тлеющего разряда на смеси состава  $\text{He}:\text{H}_2\text{O} = 1.0:0.2$  кПа (1, 2) и  $\text{Xe}:\text{H}_2\text{O} = 4.0:0.2$  кПа (3).

(рис.4). Замена гелия тяжелым инертным газом ( $\text{Xe}$ ) приводила к значительному уменьшению яркости ВУФ полос излучения. Сравнение параметра  $E/N$ , полученного в настоящем эксперименте (более 1 Тд), с данными работы [3] показывает, что в последнем случае он на порядок ниже.

Средняя мощность излучения на смеси  $\text{He}-\text{H}_2\text{O}$  в области 130–190 нм сравнима с мощностью соответствующей  $\text{ArCl}$ -лампы на  $\lambda = 175$  нм ( $B-X$ ) и достигает 1 Вт.

Таким образом, исследование характеристик стационарного излучателя с накачкой тлеющим разрядом постоянного тока показывает, что при напряжениях на разрядном промежутке  $U_{\text{ch}} = 800-1000$  В и токах накачки менее 50 мА основное излучение плазмы сосредоточено в области 130–190 нм и связано со спонтанным распадом молекул гидроксила ОН ( $C-A$ ;  $B-X$ ); оптимальное давление паров воды находится в интервале 50–150 Па, а оптимальное давление атомов гелия составляет 1.0 кПа; замена гелия ксеноном приводит к уменьшению яркости полос ВУФ излучения примерно на порядок. Зависимости яркости полос от тока разряда имеют линейно возрастающий характер, что указывает на превалирование прямого электронного возбуждения излучающих частиц плазмы.

1. Головицкий А.П., Кан С.Н. *Оптика и спектроскопия*, **75**, 604 (1993).
2. Панченко А.Н., Скаун В.С., Соснин Э.А., Тарасенко В.Ф. и др. *Письма в ЖТФ*, **21**, № 20, 77 (1995).
3. Вуль А.Я., Кидалов С.В., Миленин В.И., Тимофеев Н.А. и др. *Письма в ЖТФ*, **25**, № 1, 10 (1999); **25**, № 8, 62 (1999).
4. Шуайбов А.К., Дашенко А.И. *Квантовая электроника*, **30**, 279 (2000).
5. Шуайбов А.К., Дашенко А.И. *ПТЭ*, № 3, 101 (2000).
6. Райзер Ю.П. *Физика газового разряда* (М., Наука, 1987).
7. Soslida M. *Proc.VI EPS Conf. Atom. and Mol. Phys.* (Siena, Italy, 1998, p.9–24).