

04;07;12

## Исследование тлеющего разряда в смеси аргона с гидроксидом ОН

© А.Я. Вуль, С.В. Кидалов, В.М. Миленин,  
Н.А. Тимофеев, М.А. Ходорковский

С.-Петербургский государственный университет  
Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе РАН, С.-Петербург  
ГНЦ "Прикладная химия"

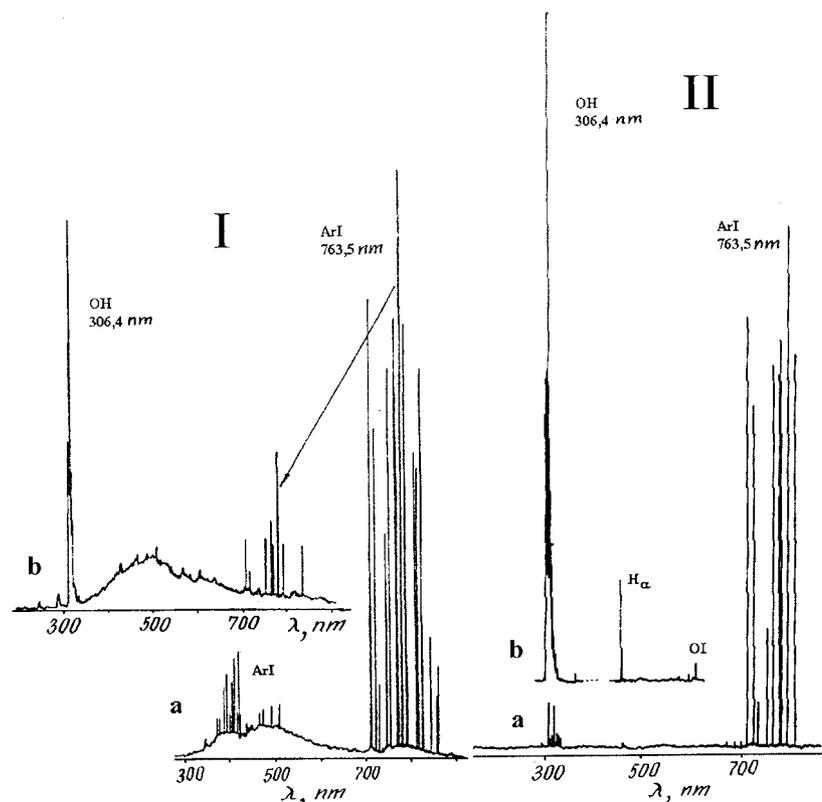
Поступило в Редакцию 24 декабря 1998 г.

Экспериментально исследован тлеющий разряд в смеси аргона с гидроксидом ОН. Показано, что при определенных разрядных условиях значительная часть электрической энергии, вкладываемой в разряд, идет на генерацию резонансного излучения молекул ОН. Полученные результаты позволяют говорить о реальной возможности создания нового экологически безвредного источника оптического излучения, который может в перспективе заменить ртутные люминесцентные источники света.

Разряд в смеси легкоионизируемой добавки с буферным (инертным) газом является основой большинства современных эффективных источников оптического излучения низкого давления.

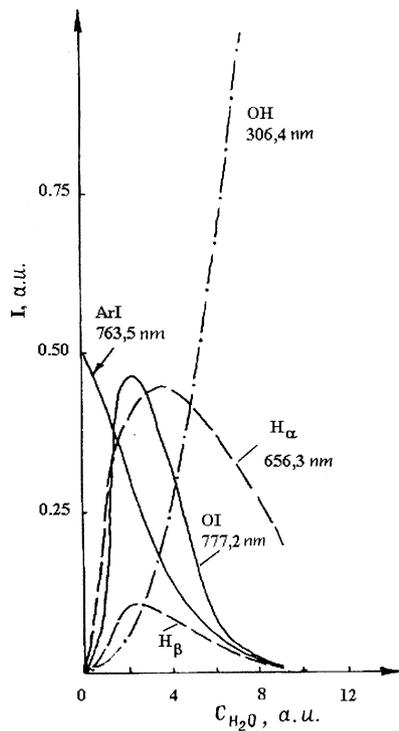
Примерами таких источников света могут быть ртутные люминесцентные лампы, натриевые источники света низкого давления, источники излучения на парах различных металлов и т.д. [1,2]. В работе [3] было показано, что в качестве легкоионизируемой добавки могут быть использованы молекулы гидроксида ОН. Данная работа является продолжением исследований, результаты которых были изложены в [3].

Целью данной работы являлось исследование оптических и энергетических характеристик разряда в смеси аргона и гидроксида ОН, являющегося результатом развала молекул воды в условиях тлеющего разряда, и оценка роли элементарных процессов, определяющих свойства получаемой плазмы. Исследования проводились в разряде постоянного тока и в высокочастотном разряде возбуждаемым электрическим полем с частотой 60 МГц. Разряд создавался в кварцевых трубках различной длины (от 3 до 10 см), диаметром (от 1.0 до 4.5 см).



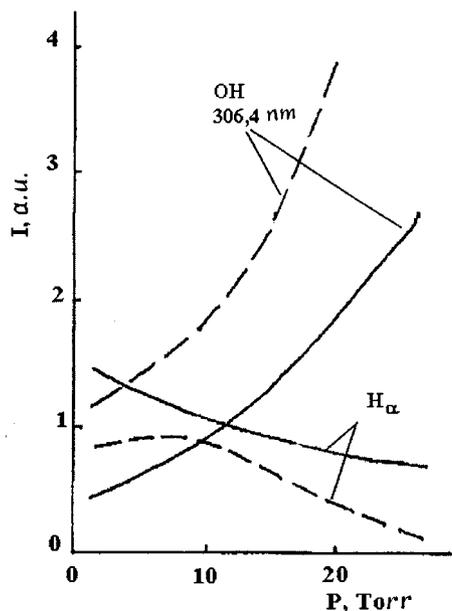
**Рис. 1.** Спектр излучения плазмы разряда постоянного тока (I) и разряда переменного тока высокой частоты (II). *a* — разряд в аргоне, *b* — разряд в смеси Ag+OH.

Измерялись оптические (интенсивности спектральных линий и полос в диапазоне 200–800 nm) и энергетические (вводимая в разряд электрическая мощность, мощность излучения ряда линий и резонансной полосы OH 306.4 nm) характеристики разряда в аргоне с различным содержанием молекул H<sub>2</sub>O. Давление инертного газа варьировалось в диапазоне 1–30 Torr. Ток в разряде постоянного тока составлял величину 50–500 mA, в высокочастотном разряде — 5–30 mA.



**Рис. 2.** Интенсивности линий аргона (763.5 nm), атомарного кислорода (777.2 nm), атомарного водорода (656.3 nm и 486.1 nm) и резонансной полосы гидроксила OH (306.4 nm) в зависимости от концентрации молекул воды в разрядной камере  $C_{H_2O}$ .

Исследования показали, что разряды двух типов — ВЧ-разряд емкостного типа и разряд постоянного тока — весьма схожи по своим оптическим и энергетическим характеристикам. На рис. 1 представлены спектры излучения этих двух разрядов в чистом аргоне и при содержании в них близких концентраций молекул  $H_2O$ . Видно, что качественно картины совпадают. Это свидетельствует о том, что основные элементарные и плазмохимические процессы, определяющие свойства плазмы рассматриваемых разрядов, сходны, причем в обоих типах разрядов



**Рис. 3.** Интенсивность резонансной полосы ОН 306,4 нм и линии водорода Н<sub>α</sub> 656,3 нм в зависимости от давления аргона. Для пунктирных кривых концентрация молекул воды вдвое больше, чем для сплошных.

удается получить условия, в которых излучение резонансной полосы ОН 306,4 нм превалирует над излучением других полос и линий.

Наиболее сильно на оптические характеристики плазмы разряда в смеси Ar + OH, как показали наши исследования, влияет изменение концентрации молекул воды. На рис. 2 приведены интенсивности некоторых наблюдаемых в исследуемом разряде атомарных линий (аргона 763,5 нм, атомарного водорода 656,3 нм и 486,1 нм (Н<sub>α</sub> и Н<sub>β</sub>), атомарного кислорода 777,2 нм) и резонансной полосы ОН в зависимости от концентрации молекул Н<sub>2</sub>О. Излучение других возможных продуктов плазмохимических реакций (например, молекулярного водорода) не наблюдалось. Из рисунка видно, что при относительно малых концентрациях молекул воды увеличение их концентрации приводит к быстрому росту интенсивности атомарных линий кислорода и водорода.

Интенсивность линий аргона в видимой области спектра уменьшается и довольно быстро становится меньше интенсивности  $H_{\alpha}$  и линии атомарного кислорода  $777.2\text{ nm}$ , которые достигают своего максимума и затем уменьшаются с ростом концентрации  $H_2O$ . Обращает на себя внимание то, что интенсивность линии  $OI$  —  $777.2\text{ nm}$  уменьшается значительно быстрее интенсивности линий водорода, хотя последние имеют энергии возбуждения заметно выше ( $12.09\text{ eV}$  для  $H_{\alpha}$  и  $12.73\text{ eV}$  для  $H_{\beta}$ ) энергии возбуждения линии  $OI$  —  $777.2\text{ nm}$  ( $10.74\text{ eV}$ ). Последнее может быть связано с уменьшением концентрации атомарного кислорода как продукта разложения молекул воды, в котором, по-видимому, при достаточно больших концентрациях  $H_2O$  начинает преобладать канал, дающий атомарный водород и молекулу гидроксила  $OH$ . Этот вывод подтверждается резким ростом излучения резонансной полосы  $OH$  —  $306.4\text{ nm}$ .

Изменение давления инертного газа также сказывается на свойствах исследуемых разрядов: увеличение давления аргона приводит к росту интенсивности резонансной полосы  $OH$  и улучшению соотношения между интенсивностью данной полосы и интенсивностями излучений атомарного кислорода и водорода. Дальнейшее увеличение давления аргона, возможно, положительно повлияет на свойства плазмы (рис. 3).

Оценка энергетического КПД излучения  $OH$   $306.4\text{ nm}$  проводилась путем сравнения интенсивности данного излучения с излучением ртутного разряда, для которого известны абсолютные значения интенсивностей большинства линий в УФ и видимой области спектра [1,4]. Проведенное сравнение показало, что эффективность генерации резонансного излучения молекул  $OH$   $306.4\text{ nm}$  разрядом в смеси  $OH + Ar$  может быть весьма высокой. В исследованных условиях не менее 25% электрической энергии, вкладываемой в разряд, идет на генерацию данной полосы.

Работа инициирована и выполнена при финансовой поддержке НТА "Интеллект".

## Список литературы

- [1] *Рохлин Г.Н.* Разрядные источники света. М.: Энергоатомиздат, 1991. 720 с.
- [2] *Уэймаус Д.* Газоразрядные источники света. М.: Энергия, 1966. 310 с.
- [3] *Вуль А.Я., Кидалов С.В., Миленин В.М., Тимофев Н.А., Ходорковский М.А.* // Письма в ЖТФ. 1999. Т. 25. В. 1. С. 10–16.
- [4] *Koedam M., Kruijthof A.A., Riemens J.* // Physica. 1963. V. 29. P. 565–584.