

УДК 543.423

Сравнение спектральных характеристик плазмы аргонового и ксенонового дуговых разрядов атмосферного давления

**Н.Г. Внукова^{а,б,в}, А.Л. Колоненко^в,
В.А. Лопатин^б, Г.Н. Чурилов^{а,б,в*}**

*^а Сибирский федеральный университет,
Институт Инженерной физики и радиоэлектроники
Россия 660041, Красноярск, Свободный, 79*

*^б Институт физики им. Л.В. Киренского СО РАН,
Россия 660036, Красноярск, Академгородок, 50/38,*

*^в Красноярский государственный педагогический
университет им В.П. Астафьева,
Россия 660060, Красноярск, Ады Лебедевой, 89 ¹*

Received 3.06.2011, received in revised form 10.06.2011, accepted 17.06.2011

Выполнено исследование спектральных характеристик дугового разряда атмосферного давления килогерцового диапазона частот методом атомно-эмиссионной спектроскопии. В качестве плазмообразующего газа использовались аргон и ксенон.

Ключевые слова: эмиссионная спектроскопия, плазма, ксенон, аргон.

Введение

Газовый разряд привлекает внимание исследователей-специалистов в различных областях, таких как электротехника, энергетика, плазмохимия и другие. Это связано как с новым осмыслением фундаментальных процессов, протекающих в низкотемпературной плазме, так и с практическим значением его использования в плазменных технологиях [1]. Как практическое, так и фундаментальное направления интенсивно исследуются. Число направлений применения газовых разрядов достаточно велико, например: сварочные дуги, накачка газовых лазеров и источники света для аналитической химии [2].

Атомно-эмиссионная спектроскопия в силу простоты реализации, высокой чувствительности и воспроизводимости является одним из основных методов элементного анализа вещества. Данный метод анализа получил широкое применение в металлургической и горной про-

* Corresponding author E-mail address: churilov@iph.krasn.ru

¹ © Siberian Federal University. All rights reserved

мышленности, в прикладной геохимии и экологическом мониторинге окружающей среды [3]. Хорошо решен вопрос получения и регистрации спектральной информации высокоэффективными спектрометрами, укомплектованными фоторегистрирующими устройствами на основе ПЗС-матриц. Однако задача точного определения качественного и количественного состава газообразных, жидких и твердых проб связана с задачей получения чистой плазмы, лишенной мешающих атомных линий и молекулярных полос. Основная проблема источников, работающих в открытом пространстве, связана с повышением уровня фона и образованием молекулярных полос в результате взаимодействия анализируемых веществ с воздухом. Таким образом, применение газов с большей атомной массой может привести к отсутствию молекулярных полос, не относящихся непосредственно к анализируемому веществу. При этом будут сохранены такие неоспоримые достоинства источников света для атомно-эмиссионного анализа, работающих на воздухе, как высокая скорость анализа и простота.

Экспериментальная часть

Исследовался разряд между двумя медными водоохлаждаемыми электродами в открытом пространстве. Центральный электрод выполнен в виде стержня с осевым отверстием диаметром 1,5 мм, через которое подавался плазмообразующий газ. Второй электрод-индуктор выполнен из медной водоохлаждаемой трубки. Ток дуги составлял 10-13 А, что обеспечивало локальное термодинамическое равновесие в плазме разряда [4]. Скорость подачи плазмообразующего газа составляла 8 л/мин.

Кроме электродов, установка для атомно-эмиссионного анализа состоит из генератора ТВЧ, блока согласования, спектрографа PGS-2 (с разрешением 7,4 Å/мм в диапазоне от 200 до 900 нм) [5] и устройства электронной регистрации спектра. Регистрация спектра осуществлялась при помощи фотоэлектронной кассеты ФЭК-9, разработанной ООО «Многоканальные оптические регистрационные системы» [6].

В качестве плазмообразующего газа для данного разряда в одном случае использовался аргон (ГОСТ 10157-79), а в другом ксенон (ГОСТ 10219-77).

Результаты и их обсуждение

В спектре аргона зарегистрированы молекулярные полосы, принадлежащие N_2 в диапазонах длин волн 337,1- 357,7 и 357,7-380,5 нм [4]. Поскольку массовая доля азота в аргоне не превышает 0,005 %, мы считаем, что азот поступает в разряд из окружающей его атмосферы, т.е. воздуха.

На рис. 1 и 2 представлены спектры плазмы разряда в атмосфере воздуха в диапазонах длин волн 210-520 нм с аргоном и ксеноном, в качестве плазмообразующего газа. В спектрах присутствуют атомарные линии меди в диапазоне длин волн 210-231, 324,7 и 327,3 нм и группа линий 510,5, 515,3 и 521,8 нм. Концентрация меди в спектре плазмы разряда в атмосфере воздуха с ксеноном выросла, поскольку на рис. 2 зарегистрировано значительное увеличение интенсивности атомарных линий меди. Также в спектрах зарегистрированы молекулярные полосы N_2 (диапазон 337,1-357,7; 357,7-380,5; 380,5- 409,5 нм). На рис. 2 в диапазоне длин волн 420-480 нм зарегистрированы атомарные линии ксенона [7]. Линии аргона не зарегистрированы во всем диапазоне длин волн от 210 до 510 нм.

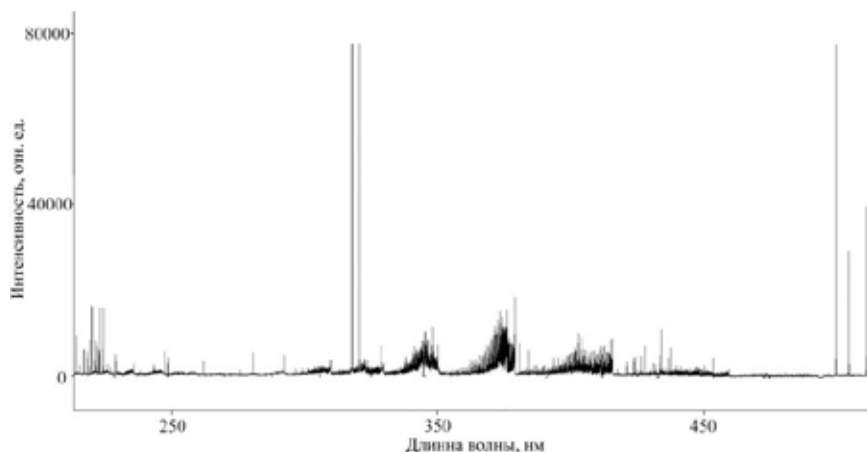


Рис. 1. Спектр плазмы разряда при использовании плазмообразующего газа аргона в диапазоне длин волн 220-520 нм

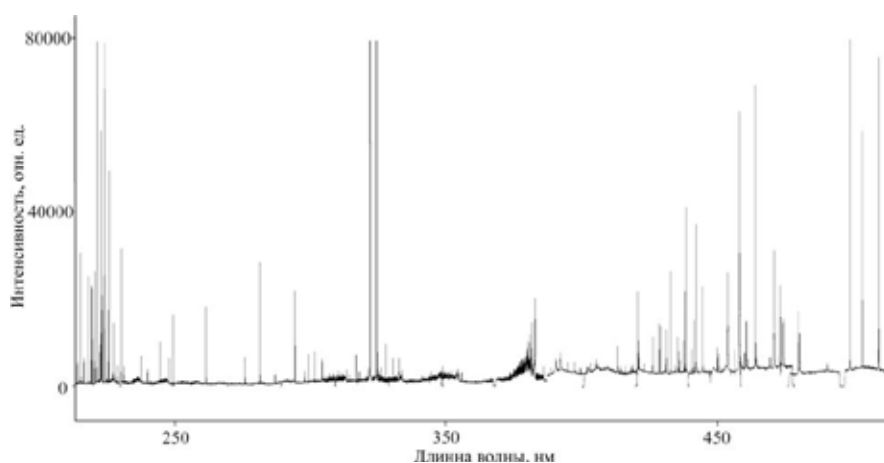


Рис. 2. Спектр плазмы разряда при использовании плазмообразующего газа ксенона в диапазоне длин волн 220-520 нм

Для оценки стабильности излучения плазмы разряда был использован коэффициент вариации, который является стандартным в математической статистике [8]. Для оценки была использована линия меди 249,2 нм. Коэффициент вариации имел значение 6,1 % в случае использования ксенона в качестве плазмообразующего газа и 2,8 % в случае аргона.

Методом Орнштейна была рассчитана температура разряда, которая составила для аргонового 5000 ± 100 К и для ксенонового 5760 ± 115 К. Очевидно, причина роста температуры заключается в значительном уменьшении потока газа извне, поскольку на представленных спектрах показано, что в спектре ксенона практически отсутствуют молекулярные полосы азота.

Для оценки эрозии электрода была произведена экстраполяцией зависимости интенсивности линии меди 510,5 нм от её концентрации в плазме. Были приготовлены эталоны с процентным содержанием меди от 0,1 % до 0,00001 % в графитовой матрице, и была получена прямолинейная концентрационная зависимость. Установлено, что эрозия центрального электрода выросла в случае использования ксенона в качестве плазмообразующего газа и составила $6 \cdot 10^{-11}$ кг/Кл, в то время как при использовании аргона эрозия составляет $1,8 \cdot 10^{-11}$ кг/Кл. Рост эрозии при одинаковом токе разряда обусловлен тем, что атомная масса ксенона более чем в три раза превышает массу аргона, а основной механизм поступления электронов в плазму – это ионная бомбардировка катода.

Выводы

Использование ксенона в качестве плазмообразующего газа высокочастотного разряда атмосферного давления, с одной стороны, действительно позволяет избавиться от присутствия в спектре молекулярных полос азота, а также повысить температуру в межэлектродном промежутке, но с другой – приводит к росту эрозии центрального электрода и снижению стабильности разряда. Следует отметить, что ксенон является еще и дорогим газом. Таким образом, результаты работы носят фундаментальный характер, поскольку ксенон может быть использован для практических целей спектроскопии лишь в исключительных случаях.

В дальнейшем мы планируем применить криптон, поскольку он также имеет большую относительную атомную массу, чем у аргона. К тому же стоимость криптона в десять раз ниже стоимости ксенона, а следовательно, он может более широко применяться в спектроскопии для решения аналитических задач.

Работа выполнена при частичной поддержке РФФИ (проект № 09-03-00383-а).

Список литературы

1. Морозов А.И. Введение в плазмодинамику. М.: Физматлит, 2006. 571 с.
2. Шибкова Л.В., Шибков В.М. Разряд в смесях инертных газов. М.: Физматлит, 2005. 199 с.
3. Иванова Т.И., Ткачев Ю.А. Спектральный анализ в геологии и геохимии. Екатеринбург: УрО РАН, 2003. 295 с.
4. Райзер Ю.П. Физика газового разряда. М.: Наука, 1986. 590 с.
5. Сыченко Д.П., Внукова Н.Г., Лопатин В.А., Глушенко Г.А., Марачевский А.В., Чурилов Г.Н. // ПТЭ. 2004. №3. С.1
6. Григорьев Л.И., Силькис Э.Г.//Аналитика и контроль. 2002. Т. 6. № 3. С. 295.
7. Зайдель А.Н., Прокофьев В.К., Райский С.М., Славный В.А., Шрейдер Е.Я. Таблицы спектральных линий. М.: Наука, 1969. 782 с.
8. Налимов В.В. Применение математической статистики при анализе вещества. М.: Физматгиз, 1960. 187 с.

Comparison of Plasma Spectral Characteristic of Argon and Xenon arc Discharges Under Atmospheric Pressure

**Natalia G. Vnukova^{a,b,c}, Andrey L. Kolonenko^c,
Vladislav A. Lopatin^b and Grigory N. Churilov^{a,b,c}**

*^a Federal State Autonomous Educational Institution
of Higher Education Siberian Federal University,
Institute of Engineer Physics and Radioelectronics,
79 Svobodny, Krasnoyarsk, 660041 Russia*

*^b L.V. Kirensky Institute of Physics SB RAS,
50/38 Academgorodok, Krasnoyarsk, 660036 Russia*

*^c Interdisciplinary Investigations Center
of V.P. Astafiev Krasnoyarsk State Pedagogical University,
89 A. Lebedeva st., Krasnoyarsk, 660049 Russia*

Spectral characteristics investigation of arc discharge kHz frequency under atmospheric pressure is carried out by atom-emission spectroscopy. Argon and xenon were used as gas for plasma formation.

Keywords: emission spectroscopy, plasma, xenon, argon.
