

НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК АЗЕРБАЙДЖАНА

ИНСТИТУТ ФИЗИКИ

На правах рукописи

БОНДЯКОВ АЛЕКСЕЙ СЕРГЕЕВИЧ

**ВЫСОКОВОЛЬТНЫЙ ИМПУЛЬСНЫЙ РАЗРЯД
НАНОСЕКУНДНОЙ ДЛИТЕЛЬНОСТИ В ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ
ПРОЦЕССАХ ПЛАЗМОХИМИЧЕСКОЙ РЕАКЦИИ**

2221.01 – Электрофизика, электрофизические установки

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

диссертации на соискание ученой степени
доктора философии по технике

БАКУ – 2015

Работа выполнена в лаборатории «Физика и техника высоких напряжений» Института Физики НАН Азербайджана.

Научный руководитель:

Доктор технических наук

Мехтизаде Р.Н.

Официальные оппоненты:

доктор технических наук, профессор
доктор философии по физике, доцент

Лазымов Т.М.
Ахмедов Э.Н.

Ведущая организация:

Азербайджанский Научно-Исследовательский и Проектно-Изыскательский Институт Энергетики.

Защита состоится «_11_» __11____2015 г. в ___ часов на заседании Разового Диссертационного совета согласно приказу № 115 от 27 апреля 2015 г. ВАК при Президенте Азербайджанской Республики в Институте Физики НАН Азербайджан.

Адрес: AZ1143, г.Баку, проспект Г.Джавида, 131.

Тел/факс: (+994 12) 5372292

Email: director@physics.ab.az

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Института Физики НАН Азербайджана.

Автореферат разослан «___» _____ 2015 г.

Ученый секретарь Разового
Диссертационного Совета,
д.ф.-м.н., профессор

Араслы Д.Г.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. При изучении свойств электрических разрядов в газах и возможностей их практического применения в технике и технологии большой интерес вызывают высоковольтные импульсные разряды, развивающиеся в межэлектродном пространстве в течение коротких и сверхкоротких промежутков времени, измеряемыми микро- и наносекундами.

Указанные разряды относятся к неравновесным видам разрядов, характеризующимся резким отрывом электронной температуры от температуры ионов, атомов и молекул газа, и, как следствие, высокой степенью энергетической отдачи и малыми потерями энергии на нагрев газа. Практическое отсутствие в высокоскоростных импульсных разрядах инерционных тепловых эффектов позволяет исключить их из рассмотрения при исследованиях отдельных процессов в плазме разряда, а также более эффективно осуществлять технологические воздействия на материалы.

Наносекундные импульсные разряды являются, пожалуй, наименее изученными и весьма привлекательными как для исследования элементарных процессов, протекающих в плазме разряда, так и для использования их в качестве генератора ионизованных и возбужденных частиц, а также химически активных атомов, при модифицирующих воздействиях на материалы в различных технологических процессах.

Для эффективного использования высоковольтных импульсных разрядов, в том числе, наносекундного диапазона, необходимы всесторонние исследования условий их возникновения и развития, механизмов происходящих в плазме разряда процессов, структуры канала плазмы, влияния электродов и конфигурации межэлектродного промежутка и других особенностей и характеристик разряда. Однако наносекундные импульсные разряды изучены недостаточно и полного описания данного типа разряда в настоящее время не существует. Экспериментальные данные, полученные разными авторами, не всегда согласуются между собой. Это связано со

сложностью измерений характеристик разряда, имеющего субнаносекундные длительности, с необходимостью использования более совершенной и, соответственно, более дорогой экспериментальной техники.

Все вышесказанное обуславливает значимость и актуальность дальнейших исследований важнейших характеристик наносекундных импульсных газовых разрядов и возможностей их практического применения в технике и технологии.

Работа выполнена в Институте Физики АН Азербайджана в рамках научного направления лаборатории физики и техники высоких напряжений «Физические процессы при взаимодействии сильных электрических полей с материалами и модернизация соответствующих технологий».

Цель работы. Выявление условий и основных закономерностей возникновения и развития высоковольтных импульсных разрядов наносекундной длительности (ВИРНД) в электродных системах различной конфигурации и разработка методов их применения в осуществлении плазмохимических реакций синтеза озона и порошкообразного оксида алюминия.

Задачи исследования. Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

- разработать и сконструировать лабораторные генераторы высоковольтных импульсов микросекундной и наносекундной длительности;
- разработать методику экспериментального исследования характеристик высоковольтного импульсного разряда в воздухе в электрических полях различной конфигурации, характерных для технологических применений разряда;
- исследовать электрические характеристики импульсного разряда, такие, как ток разряда, электрический заряд, внедренный в разрядный промежуток, напряженность электрического поля в условиях пересечения и не пересечения промежутка за время импульса;
- исследовать оптические, кинетические и структурные характеристики импульсных разрядов, такие, как излучение

разряда, скорость распространения стримеров, их максимальная длина и наибольшая интенсивность ветвления;

- используя полученные экспериментальным путем характеристики импульсных разрядов, разработать методы их технологического применения для плазмохимических реакций синтеза озона из неосушенного атмосферного воздуха и синтеза порошкообразного оксида алюминия.

Объекты исследования. В качестве объектов исследования были выбраны ВИРНД в среде воздуха при различных конфигурациях междуэлектродных промежутков, а также их применение для осуществления плазмохимических реакций синтеза озона и порошкообразного оксида алюминия.

Выбор объектов исследования определялся тем, что высоковольтные импульсные электрические разряды наносекундной длительности в газах являются относительно малоизученными формами разряда, представляющими значительный интерес с точки зрения как физических методов воздействия на различные материалы и технологические процессы, широко используемых в технике и промышленности.

Научная новизна работы

1) Получены зависимости амплитуды тока разряда от длины разрядного промежутка. Амплитуда тока разряда уменьшается с ростом длины промежутка, что связано с уменьшением средней напряженности электрического поля.

Выявлено, что во всех исследуемых разрядных промежутках ток разряда длится вплоть до момента полного спада импульса напряжения.

2) Выявлено, что имеет место запаздывание начала разряда по отношению к моменту времени начала приложения напряжения, причем практически для всех межэлектродных расстояний время запаздывания разряда находится в диапазоне 30-60 нс. Также выявлено, что амплитуда тока разряда зависит не только от величины амплитуды приложенного к промежутку напряжения, но и от величины запаздывания разряда.

3) Показано, для разных длин разрядного промежутка близким по величине средним напряженностям электрического

поля в момент максимума тока соответствуют практически одинаковые значения амплитуды разрядного тока.

4) Получены данные о величине электрического заряда, внедренного в разрядные промежутки разной длины при развитии в них стримерного разряда. Показано, что величина внедренного заряда также зависит от времени запаздывания разряда.

5) С помощью осциллографических и электрографических регистраций процесса излучения разряда из междуэлектродного промежутка получены данные о скорости распространения стримерного разряда и о характерных размерах стримерных образований.

6) Разработан новый метод синтеза нанодисперсной окиси алюминия при воздействии импульсного разряда на разбавленную азотом газофазную смесь кислорода, водорода и раствора хлорида алюминия.

Практическая значимость работы

1) Совместным анализом полученных расчетов распределений электростатического поля в разрядном промежутке и экспериментально полученных данных по скорости фронта и структуре стримерной зоны установлены режимы разрядов, обеспечивающие повышение эффективности работы установок по осуществлению плазмо-химических реакций электроразрядного синтеза озона из атмосферного воздуха и наноразмерного оксида алюминия.

2) Осуществлена реакция синтеза озона из неосушенного воздуха с использованием ВИРНД для питания одно- и двухбарьерного генераторов озона. Показано, что использование ВИРНД в качестве источника питания одно- и двухбарьерных генераторов озона значительно повышает их производительность по озону.

3) На основе проведенных исследований разработан метод синтеза наноразмерного оксида алюминия, который позволяет значительно снизить энергозатраты электрофизической установки за счет организации цепного плазмохимического процесса, реализованный в лабораторных условиях. Методом электроразрядного синтеза получены образцы ультрадисперсного

порошка оксида алюминия с размером 20 -300 нм. Продукт синтеза - ультрадисперсный порошок представляет практическую ценность для применения в промышленности. Проведенные исследования показали возможность изменения размера частиц варьированием начальных факторов протекающих плазмохимических процессов.

Основные положения, выносимые на защиту:

1) Экспериментальная методика, включающая совместные измерения электрических и оптических характеристик ВИРНД в междуэлектродных газовых промежутках с конфигурациями электрических полей, используемых для осуществления технологических процессов плазмо-химических реакций;

2) Данные о скорости распространения стримерного разряда и о характерных размерах стримерных образований;

3) Метод синтеза наноразмерного оксида алюминия при воздействии импульсного разряда на газофазную смесь кислорода, водорода и галогенида металла.

Достоверность результатов подтверждена неоднократным повторением экспериментов, использованием апробированных методик, а также различных современных электрофизических методов измерения и анализа.

Реализация результатов. Результаты диссертационной работы были реализованы:

- в Национальной Академии Авиации при проведении совместных экспериментов по исследованию высокоэффективных озонаторов;

- в Бакинском Государственном университете - применение ВИРНД в качестве источника питания двухбарьерного озонатора.

Личный вклад автора.

В диссертации обобщены исследования 2007 – 2014 г.г., в которых автор принимал непосредственное участие. Личный вклад заключается в постановке целей и задач исследований, теоретическом и методическом обосновании путей их решения, выполнении расчетов, обработке, обобщении и интерпретации экспериментальных результатов, организации опытно-промышленной апробации разработанных способов. Основные положения диссертационной работы разработаны автором лично.

Применение полученных результатов проводилось при непосредственном его участии.

Апробация работы. Основные результаты работы опубликованы, доложены, обсуждены и одобрены на: 2nd International Conference on Technical and Physical Problems in Power Engineering, 2004, Tabriz, Iran; Международной конференции “Физика-2005”, Баку, 2005; International Conference on Composite Science and Technology, American University of Sharjah, 2005; 3rd International Conference on Technical and Physical Problems in Power Engineering, 2006, Ankara, Turkey; 4th International Conference on Technical and Physical Problems in Power Engineering, 2008, Pitesti, Romania; 5th International Conference on Technical and Physical Problems in Power Engineering, 2009, Bilbao, Spain; 6th International Conference on Technical and Physical Problems in Power Engineering, 2010, Tabriz, Iran; 7th International Conference on Technical and Physical Problems in Power Engineering, 2011, Lefkosa, TR Northern Cyprus; 8th International Conference on Technical and Physical Problems in Power Engineering, 2012, Fredrikstad, Norway; 13-ой Международной научно-практической конференции "Фундаментальные и прикладные исследования, разработка и применение высоких технологий в промышленности и экономике", 24-26 мая 2012 года, С-Петербург, Россия; 9th International Conference on Technical and Physical Problems in Power Engineering, 2013, Istanbul, Turkey; 10th International Conference on Technical and Physical Problems in Power Engineering, 2014, Baku, Azerbaijan.

Результаты, изложенные в диссертации, были представлены на заседаниях Ученого и Научно-технического советов и объединенных научных семинаров лабораторий Института Физики НАН Азербайджана.

Публикации. Основное содержание диссертационной работы отражено в 20 опубликованных работах в международных и республиканских изданиях, отчетах по плановым темам Института физики АН Азербайджана.

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, изложения основных

результатов и выводов, приложения, списка использованных источников.

Содержит 100 страниц машинописного текста, 30 рисунков, 9 таблиц, список литературы из 180 наименований, включая работы автора.

Во введении обоснована актуальность и сформулированы цель и основные задачи работы, приведены данные о научной новизне, практической ценности, реализации и апробации результатов работы. Сформулированы основные положения, выносимые на защиту, приведены данные о структуре и объеме диссертации.

Первая глава посвящена критическому анализу научно-технической литературы по вопросам исследования условий возникновения и развития различных видов электрических разрядов в газах, их структуры, основных параметров, а также возможностей применения для решения практических задач техники и технологии.

Описаны наиболее интересные виды электрических разрядов, привлекающие внимание исследователей с точки зрения как протекающих в них физических процессов, так и их практического применения в технике и технологии.

Приведены данные литературы по импульсным видам газового разряда, возникающим при воздействии на разрядный промежуток импульсных напряжений, т.е. напряжений малых и сверхмалых длительностей. Показано, что импульсные газовые разряды получили применение в таких областях, как очистка и обеззараживание воды, очистка газовых выбросов химических производств от паров растворителей и компаундов, в плазмохимических технологиях и высокоскоростных технологиях с применением электрического разряда в жидкости, экспериментальное изучение свойств низкотемпературной плазмы и др.

В результате проведенного обзора отмечено, что имеющиеся в литературе сведения о характеристиках импульсных разрядов, особенно наносекундного диапазона длительностей, а также об их применении в технике и технологических процессах противоречивы и недостаточны.

Малочисленны данные о конкретных конструкциях высоковольтных устройств для импульсного воздействия на различные материалы, практически отсутствуют сведения о режимах осуществления воздействия на некоторые практически важные материалы.

В конце главы приводятся выводы по главе и постановка задач исследования.

Вторая глава содержит данные об экспериментальном оборудовании и методике исследований ВИРНД и их практических применений в технологических целях. Описаны установки для возбуждения ВИРНД, а также для измерения электрических, оптических и электрографических параметров электрических разрядов. Обоснован выбор электродов и электродных систем. Описаны конструкции электродных систем, позволяющих образовывать различные конфигурации электрических полей в межэлектродных воздушных промежутках для формирования в них электрических разрядов определенного вида и в заданных режимах.

Показано, что лабораторные высоковольтные установки на основе генераторов импульсных напряжений, собранных по схемам Аркадьева-Маркса, импульсной зарядки малоиндуктивного накопительного элемента (конденсатора), а также по схеме с накопительной кабельной линии, позволяют подавать на электродные системы импульсные напряжения амплитудой 40-80 кВ (длительностью от нескольких сотен наносекунд) при длительности фронта импульса 40-60 нс, до нескольких сотен микросекунд (при длительности фронта импульса 10-20 мкс).

Описана схема регистрации оптического излучения разряда (Рис.1), которое фиксировалось фотоэлектронными умножителями (ФЭУ-79) и преобразовывалось в электрические сигналы, поступающие на вход осциллографа. Интегральная картина свечения разряда фотографировалась ССД камерой. Проводилась регистрация рентгеновского излучения путем снятия на пленку и измерения дозы излучения.

Приведены данные о методике электроразрядного синтеза озона в озонаторах различных конструкций, питание которых

осуществляется от генераторов импульсных напряжений.

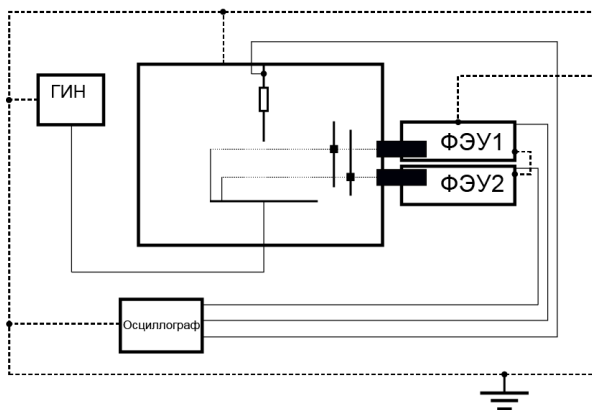


Рис.1. Схема регистрации оптического излучения разряда.

Приведена схема и описано оборудование для проведения плазмохимической реакции синтеза оксида алюминия с использованием ВИРНД.

При измерениях параметров разряда, а также стандартных измерениях физико-механических и электрофизических свойств исследуемых материалов погрешности измерений оценивались в соответствии с классом точности измерительных приборов, а также расчетным путем.

В третьей главе диссертации излагаются результаты экспериментального исследования условий возникновения и развития ВИРНД в среде воздуха, измерения их основных электрических, оптических и структурных параметров.

Выявлены основные электрические и оптические характеристики ВИРНД для последующего использования их при осуществлении плазмохимических реакций синтеза озона и порошкообразного оксида алюминия.

Экспериментальным путем выявлен ряд особенностей наносекундного импульсного разряда, отличающих его от

разрядов при воздействии микросекундных и более длительных импульсов напряжения.

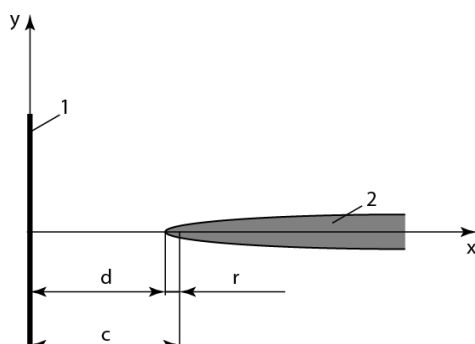


Рис.2. Расчетная модель системы электродов игла–плоскость
1 – плоский электрод; 2 – игольчатый электрод.

Расчетным путем получены данные о распределении напряженности электростатического поля вдоль разрядного промежутка (Рис.2), а также в некоторых фиксированных его точках, непосредственно до возникновения импульсного разряда. Получены осциллограммы напряжения и тока разряда в промежутках разной длины и данные по зависимости амплитуды тока от длины разрядного промежутка и от средней напряженности электрического поля в момент максимума тока. Показано, что амплитуда тока разряда уменьшается с ростом длины промежутка, что связано с уменьшением средней напряженности электрического поля.

Выявлено, что во всех исследуемых разрядных промежутках ток разряда длится вплоть до момента полного спада импульса напряжения. Это свидетельствует о том, что разряд прекращается с прекращением импульса напряжения, а не с ослаблением величины напряженности электрического поля в зоне нахождения стримера промежутке.

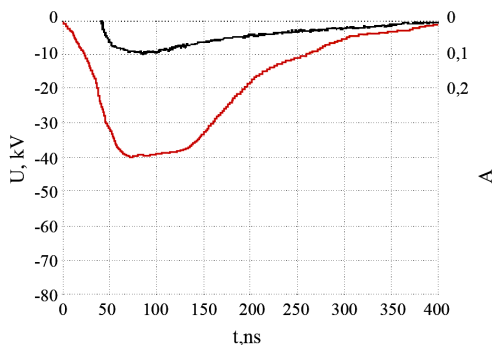


Рис.3. Осциллограммы наносекундных импульсов напряжения и тока для промежутка «игла-плоскость» длиной 12 см, амплитуда импульса напряжения 40 кВ.

Выявлено, что имеет место запаздывание начала тока разряда по отношению к моменту времени начала приложения напряжения, причем практически для всех межэлектродных расстояний время запаздывания разряда находится в диапазоне 30-60 нс. Также выявлено, что амплитуда тока разряда зависит не только от величины амплитуды приложенного к промежутку напряжения, но и от величины запаздывания тока разряда.

С целью выяснения влияния средней напряженности электрического поля на ток разряда для промежутков длиной 8 и 10 см были сняты зависимости амплитуды тока разряда от средней напряженности электрического поля в момент максимума тока $E_{\text{ср. макс}}$ следующим образом.

К каждому промежутку прикладывалось напряжение с максимальным амплитудным значением 40 кВ и снималась серия осциллограмм напряжения и тока при последовательных разрядах с различным в пределах разброса временем запаздыванием разряда по отношению к началу импульса напряжения (Рис.3).

Далее по осциллограммам для каждого импульса разряда определялось мгновенное значение напряжения в момент максимума тока и вычислялось значение средней напряженности

электрического поля $E_{ср.макс}$ как отношение мгновенного значения напряжения к длине промежутка.

Таблица 1.

Зависимость амплитудного значения тока разряда от напряженности электрического поля $E_{ср.макс}$ для длины разрядного промежутка 8 см.

$I, \text{ мА}$	142	152	162	170	180	188
$E, \text{ кВ/см}$	3.90	3.96	4.06	4.16	4.26	4.38
$u_i, \text{ кВ}$	31.2	31.7	32.5	33.3	34.1	35.1

Таблица 2.

Зависимость амплитудного значения тока разряда от напряженности электрического поля $E_{ср.макс}$ для длины разрядного промежутка 10 см.

$I, \text{ мА}$	110	118	128	136	144	154
$E, \text{ кВ/см}$	3.70	3.76	3.80	3.86	3.92	3.98
$u_i, \text{ кВ}$	37.0	37.6	38.0	38.6	39.2	39.8

Приведены зависимости амплитудного значения тока разряда от напряженности электрического поля в момент максимума тока $E_{ср.макс}$ для длин разрядных промежутков 8 и 10 см соответственно.

Также приведены мгновенные значения напряжения на разрядном промежутке в момент максимума тока разряда. Приведенные в таблицах средние значения амплитуды тока разряда находятся в пределах 20% - ного разброса.

Для всех разрядных промежутков при различных величинах мгновенного напряжения на разрядном промежутке в момент максимума тока разряда, обусловленных различными временами запаздывания разряда по отношению к началу импульса напряжения, более высоким значениям мгновенного

напряжения, а значит, и более высоким значениям напряженности электрического поля $E_{ср.макс}$, соответствуют более высокие значения амплитуды тока разряда. Указанная зависимость амплитуды тока разряда от времени запаздывания разряда связана с тем, что импульс напряжения в течение развития импульса разряда имеет возрастающий характер, и при запаздывании разряд происходит при более высоких мгновенных значениях приложенного напряжения, что обуславливает более высокие значения амплитуды тока.

Экспериментальные результаты показали, что при близких значениях напряженности поля $E_{ср.макс}$ амплитуды тока в промежутках с разными длинами в пределах разброса экспериментальных значений практически мало отличаются друг от друга. Это свидетельствует о том, что при одинаковой средней напряженности поля $E_{ср.макс}$ в промежутке амплитуды тока практически не зависят от длины разрядного промежутка. Это наглядно видно на (Рис.4), на котором показаны зависимости амплитуд разрядного тока от средней напряженности поля $E_{ср.макс}$ для промежутков длиной 8 и 10 см. Получены данные о величине электрического разряда, внедренного в промежутки разной длины при развитии в них стримерного разряда.

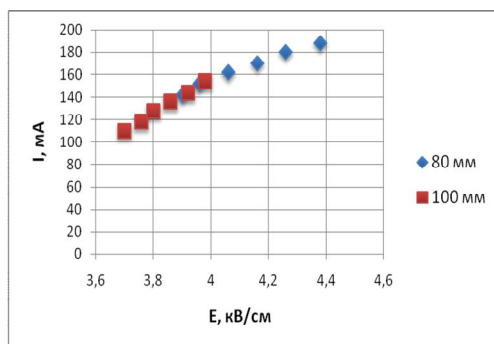


Рис.4. Зависимости амплитуд разрядного тока от средней напряженности поля $E_{ср.макс}$ для промежутков длиной 8 и 10 см.

Установлено, что величина внедренного заряда также зависит от времени запаздывания разряда. Получены значения средней скорости стримера в исследуемых промежутках. Получены значения максимальной и минимальной скорости стримера.

В четвертой главе излагаются результаты практических применений полученных результатов экспериментальных исследований характеристик высоковольтных импульсных разрядов наносекундной длительности в технологических целях, а именно, для осуществления в технологических процессах в плазмохимических реакциях синтеза озона и нанодисперсного порошка оксида алюминия.

Представлены разработанные экспериментальные установки по электроразрядному синтезу озона из атмосферного воздуха, в которых питание генераторов озона - озонаторов осуществляется от источника ВИРНД.

Описаны озонаторы двух типов: однопарьеальный и двухпарьеальный, имеющие соответственно один и два диэлектрических барьера между электродами электроразрядного промежутка.

В результате экспериментов по электроразрядному синтезу озона из неосушенного воздуха при атмосферном давлении получены следующие значения производительности двухпарьеального озонатора:

Исследуемая серия экспериментов - 1600 мг/час

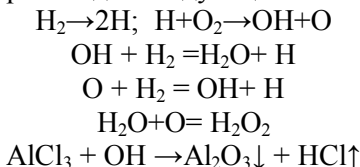
Контрольная серия экспериментов - 929 мг/час

Представленные данные являются являющиеся средними из 5 опытов.

Таким образом, экспериментально показано, что при использовании генератора импульсного напряжения наносекундной длительности в качестве источника питания в обоих озонаторах производительность последних значительно увеличивается по сравнению с питанием их синусоидальным напряжением промышленной частоты или импульсным напряжением микросекундной длительности.

В главе также изложены результаты осуществления разработанного нового метода синтеза нанодисперсной окиси

алюминия в цепном плазмохимическом процессе при воздействии импульсного разряда на газофазную смесь хлорида алюминия $AlCl_3$ с кислородом и водородом (Рис.5). Показано, что основным источником энергии в процессе синтеза является энергия экзотермической реакции окисления водорода. В процессе синтеза происходят следующие химические реакции:



Методом плазмохимического синтеза получены образцы порошка оксида алюминия с размером 20-300 нм (Рис.6). Результаты химического анализа окиси алюминия показаны в табл.3.

Таблица 3.

Содержание примесей в порошке окиси алюминия, полученный плазмохимическим синтезом, (исходный реагент – $AlCl_3$ –ГОСТ 3759-75 марки «чда»).

Процентное содержание примесей к массе $Al_2O_3, \times 10^{-3}$									
Fe	Si	Cr	Mg	Ti	Mn	Ni	Cu	Na	Ca
10-12	15-20	5-7	3-5	3	1	1	1	20-50	3

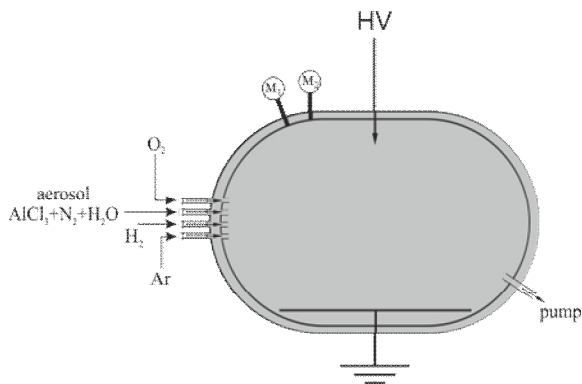


Рис.5. Реакционная камера для плазменного синтеза окиси алюминия.

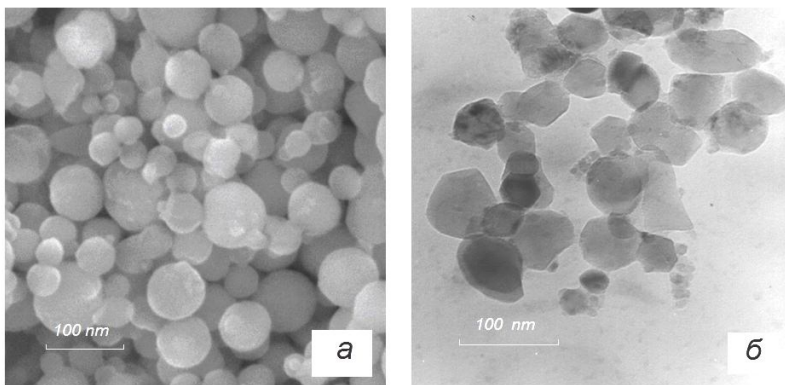


Рис.6. Электронно-микроскопическое изображение порошка оксида алюминия, синтезированного методом плазмохимического синтеза; а – после синтеза; б – после прокаливания при температуре 900°С, 1 час.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

1. Разработана экспериментальная методика, включающая совместные измерения электрических и оптических характеристик высоковольтного импульсного разряда наносекундной длительности в междуэлектродных газовых промежутках с конфигурациями электрических полей, используемых для осуществления технологических процессов плазмохимических реакций. Расчетным путем получены данные о распределении напряженности электростатического поля вдоль разрядных промежутков различных конфигураций, а также в некоторых фиксированных его точках, непосредственно до возникновения импульсного разряда.

2. Получены зависимости амплитуды тока разряда от длины разрядного промежутка. Показано, что амплитуда тока

разряда уменьшается с ростом длины промежутка, что связано с уменьшением средней напряженности электрического поля. Выявлено, что во всех исследуемых разрядных промежутках ток разряда длится вплоть до момента полного спада импульса напряжения.

3. Выявлено, что имеет место запаздывание начала разряда по отношению к моменту времени начала приложения напряжения, причем практически для всех межэлектродных расстояний время запаздывания разряда находится в диапазоне 30-60 нс. Также выявлено, что амплитуда тока разряда зависит не только от величины амплитуды приложенного к промежутку напряжения, но и от величины запаздывания разряда.

4. Показано, что для разных длин разрядного промежутка близким по величине средним напряженностям электрического поля в момент максимума тока соответствуют практически одинаковые значения амплитуды разрядного тока.

5. Получены данные о величине электрического заряда, внедренного в разрядные промежутки разной длины при развитии в них стримерного разряда. Показано, что величина внедренного заряда также зависит от времени запаздывания разряда.

6. С помощью осциллографических и электрографических регистраций процесса излучения разряда из междуэлектродного промежутка получены данные о скорости распространения стримерного разряда и о характерных размерах стримерных образований. Совместным анализом полученных расчетом распределений электростатического поля в разрядном промежутке и экспериментально полученных данных по скорости фронта и структуре стримерной зоны установлены режимы разрядов и характерные размеры реакторов для проведения плазмо-химических реакций воздействием высоковольтных импульсных разрядов.

7. Осуществлена реакция синтеза озона из неосушенного воздуха с использованием импульсного напряжения наносекундной длительности для питания одно- и двухбарьерного генераторов озона. Показано, что использование высоковольтного импульсного разряда наносекундной

длительности в качестве источника питания одно- и двухбарьерных генераторов озона значительно повышает их производительность по озону.

8. По результатам проведенных исследований впервые разработана технологическая установка по осуществлению плазмо-химической реакции электроразрядного синтеза наноразмерного оксида алюминия. Методом электроразрядного синтеза получены образцы порошка оксида алюминия с размером 20-300 нм.

Основные результаты диссертации опубликованы в следующих работах:

1. Гашимов А.М., Мехтизаде Р.Н., Курбанов Э.Д., Бондяков А.С. Импульсные разряды наносекундного диапазона и их воздействие на твердые диэлектрики/ Материалы Международной конференции “Физика-2005”, Баку, 2005. с.450.
2. Gashimov A.M., Quseynli A.Ya., Bondyakov A.S., Kurbanov E.D. High voltage pulsed discharge in air in atmosphere pressure and the big overvoltages/ International conference «ТРЕ-2006”, Turkey, 2006.
3. Гашимов А.М., Гусейнли А.Я., Курбанов Э.Д., Бондяков А.С. Исследования характеристик и структуры наносекундных импульсных разрядов в воздухе// Проблемы энергетики, Баку, №3-4, 2006. с.60-66.
4. Кужекин И.П., Гашимов А.М., Курбанов Э.Д., Бондяков А.С. Local and nonlocal criterions of runaway electrons in solid gases and dielectrics under action of high voltage pulses by short wavefront// Fizika, Баку, 2007, №5, стр.3-9.
5. Кужекин И.П., Гашимов А.М., Курбанов Э.Д., Бондяков А.С. Физические процессы в плотных газах при воздействии наносекундных импульсов высокого напряжения// Проблемы энергетики, Баку, 2007 № 3, 58-65.
6. Курбанов Э.Д., Мурадова Р.А., Бондяков А.С. Импульсный пробой твердых диэлектриков// Проблемы энергетики, Баку, 2007 № 4, стр.71-73.

7. Гашимов А.М., Гасанов М.А., Джавадов Н.Ф., Бондяков А.С. Активация бентонитовой глины высоковольтным импульсным разрядом// Проблемы энергетики, Баку, 2007 № 4, стр.57-60.
8. Kurbanov E.D., Gorin Yu.V., Bondyakov A.S. Reactors of torch and barrier discharges in glass-fibre plastics production/ 4th International Conference on Technical and Physical Problems of power Engineering, TPE-2008, 4-6 September 2008, Pitesti, Romania.
9. Kurbanov E.D., Kuzhekin I.P., Hashimov A.M., Bondyakov A.S. The physical processes in water by affect of high voltage short front pulses/ The 5-th International conference on technical and physical problems of power engineering TPE-2009, Spain, p.245.
10. Мехтизаде Р.Н., Бондяков А.С., Кязумов Ш.А. Численное моделирование катодонаправленного стримера импульсного разряда// Проблемы Энергетики, Баку, Элм, № 1, 2009, с.49-54.
11. Mekhtizadeh R.N., Rzaev F.T., Kurbanov E.D., Bondyakov A.S., Kazimov Sh.A. Exploration and application of the high - speed ionization waves in modern technologies/ 6-th International conference on “Technical and Physical Problems of Power Engineering TPE-2010, 14-16 September, Iran, Tabriz, p.366-368.
12. Mehdizadeh R.N., Kazimov Sh.A., Kurbanov E.J. The role of dielectric nozzle on x-radiation of runaway electrons during high voltage breakdown/ The 7th International Conference on “Technical and Physical Problems of Power Engineering”, 7-9 July 2011, pp.110-112.
13. Hashimov A.M., Mehdizadeh R.N., Bondyakov A.S., Kazimov Sh.A. Nanosecond discharges in a nonuniform electric field/ Fizika, vol. XVII, Number 4, Dec.2011. p. 20 -24.
14. Гашимов А.М., Мехтизаде Р.Н., Бондяков А.С., Кязумов Ш.А. Исследование наносекундного стримерного разряда методом электрографии// ANAS, Xəbərlər, Transaction, Fizika-riyaziyyat və texnika elmləri seriyası, fizika və asronomiya, Vol. XXXII №2, p. 106-110, 2012.
15. Гашимов А.М., Мехтизаде Р.Н., Бондяков А.С., Кязумов Ш.А. Рентгеновское излучение наносекундного стримерного разряда в воздухе// “Проблемы Энергетики”, №4, 2011, с.40-43.

16. Гашимов А.М., Мехтизаде Р.Н., Бондяков А.С., Кязумов Ш.А. Взрывные процессы на катоде при формировании наносекундного импульсного разряда высокого напряжения// Энергетика - Изв. Вуз-ов и энерг. объедин. СНГ, Минск, март-апрель 2012, с.17-23.
17. Hashimov A.M., Mekhtizadeh R.N., Bondyakov A.S., Kazimov Sh.A.. High voltage nanosecond discharges in air at nonuniform configuration of electric field/ 8-th International conference «ТРЕ-2012», Fredrikstad, Norway, 2012.
18. Мамедов Н.А., Мехтизаде Р.Н., Алекберов Ш.Ш., Бондяков А.С. Озонатор с двухбарьерным импульсным разрядом// Проблемы энергетики, №4, 2013, с.43-49.
19. Hashimov A.M., Mehdizadeh R.N., Bondyakov A.S., Sh.A.Kazimov. Plasmochemical synthesis of aluminum oxide/ ICTPE-2013, Istanbul, Turkey, 9-11 September. p.477-480.
20. Mamedov N.A., Mehdizadeh R.N., Bondyakov A.S., Alekberov Sh.Sh., Mustafayeva I.I. Ozonizer with two barriers pulse discharge/ The 10-th International Conference on Technical and Physical Problems of Electrical Engineering 7-8 September 2014, Baku, Azerbaijan, p.394-397.

BONDYAKOV ALEKSEY SERQEYEVİÇ

YÜKSƏK GƏRGİNLİKLİ NANOSANİYƏ İMPULS QAZ BOŞALMALARININ PLAZMA-KİMYƏVİ PROSESLƏRDƏ TƏTBİQİ

XÜLASƏ

Təqdim olunmuş dissertasiya işi nanosaniyə sürəkliliyinə malik impuls qaz boşalmalarının elektrik və optik xarakteristikalarının tədqiqinə, bu boşalmaların ozonun və nano ölçülü alüminium oksidin plazmokimyəvi üsulla sintezi proseslərində tətbiqinə həsr edilmişdir.

Girişdə işin aktuallığı əsaslandırılır, işin məqsədi və qarşıda duran məsələlər göstərilir, işin elmi yenilikləri, praktiki əhəmiyyəti və müdafiəyə çıxarılan əsas müddəaları verilir, aprobasiya və nəşrlər haqqında, işin quruluşu və həcmi bəzəsində məlumat və elmi- tezniki ədəbiyyatın analitik təhlili verilmişdir.

İmpuls boşalmalarının elektrik və optik xassələrinin tədqiqi üçün üsul və sxemlər təsvir edilmişdir.

Ozonun və nano ölçülü alüminium oksidin plazmokimyəvi üsulla sintezi proseslərində istifadə üçün nanosaniyə sərəkliliyinə malik yüksək gərginlikli elektrik boşalmasının əsas elektrik və optik xarakteristikaları tədqiq edilmişdir.

Hesablama yolu ilə elektrostatik sahədə müxtəlif konfigurasiya malik boşalma aralıqları boyu gərginliyin qiymətinin paylanması haqqında məlumatlar alınmışdır.

Boşalmanın formalaşdığı dövrdə katodda gedən partlayış prosesləri tədqiq olunmuş və elektrodlarda boşalma zamanı müxtəlif dozalı rentgen şüalanması baş verdiyi müəyyən edilmişdir.

Elektrod aralıqları arasında boşalma prosesinin osilloqrafik və elektroqrafik üsullarla qeyd edilməsi yolu ilə strimer boşalmasının sürəti bəzədə məlumatlar alınmışdır.

Alınmış nəticələr plazmokimyəvi proseslərdə tətbiq olunmaq üçün, üsul və qurğuların işlənilib hazırlanması üçün istifadə edilmişdir.

BONDYAKOV ALEKSEY SERGEYEVICH

HIGH VOLTAGE NANOSECOND PULSE DISCHARGE IN PLASMA CHEMISTRY REACTION TECHNOLOGY

SUMMARY

Dissertation of Bondyakov A.S. is devoted to electrical and optical characteristics of nanosecond pulsed gas discharges and their practical applications in engineering and technology, in particular, for plasma-chemical reactions of ozone synthesis and nano-sized alumina.

The urgency and stated purpose and main objectives of the work, shows the scientific novelty, practical value, implementation and validation of the results. The basic provisions for the defense, presents data on the structure and scope of the dissertation.

Made the analysis of the scientific and technical literature. Described the protocols and methods of registration of electrical and optical characteristics of pulsed discharges.

The basic electrical and optical characteristics of pulsed nanosecond discharge for their subsequent use in the implementation of plasma-chemical reactions of ozone synthesis and aluminum oxide powder.

By calculation to obtain data on the distribution of the electrostatic field along the discharge gaps of different configurations, as well as some of its fixed points directly to the emergence of a pulsed discharge.

Use the oscilloscope and electro photographic process registrations discharge radiation from interelectrode gap to obtain data on the propagation velocity of the streamer discharge.

The results are used to develop methods and devices for plasma-chemical reactions technology.

AZƏRBAYCAN MİLLİ ELMLƏR AKADEMİYASI

FİZİKA İNSTİTUTU

Əlyazması hüququnda

BONDYAKOV ALEKSEY SERGEYEVİÇ

**YÜKSƏK GƏRGİNLİKLİ NANOSANİYƏ İMPULS QAZ
BOŞALMALARININ PLAZMA-KİMYƏVİ PROSESLƏRDƏ
TƏTBİQİ**

İxtisas: 2221.01- Elektrofizika və elektrofiziki qurğular

**Texnika üzrə fəlsəfə doktoru elmi dərəsi almaq
üçün təqdim olunmuş dissertasiyanın**

AVTOREFERATI

BAKI – 2015