

6
A67

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО
ОБРАЗОВАНИЯ РСФСР
РЯЗАНСКИЙ РАДИОТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

На правах рукописи

И. А. ЗАЙЦЕВ

ИССЛЕДОВАНИЕ РАЗРЯДА "АНОДНОЕ СВЕЧЕНИЕ" И
ИЗУЧЕНИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ЕГО ТЕХНИЧЕСКОГО
ПРИМЕНЕНИЯ.

/Специальность № 05.297 - "Электровакuumные
и газоразрядные приборы и технология их
производства"/

А в т о р е ф е р а т
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Рязань - 1971

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО
ОБРАЗОВАНИЯ РСФСР
РЯЗАНСКИЙ РАДИОТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

На правах рукописи

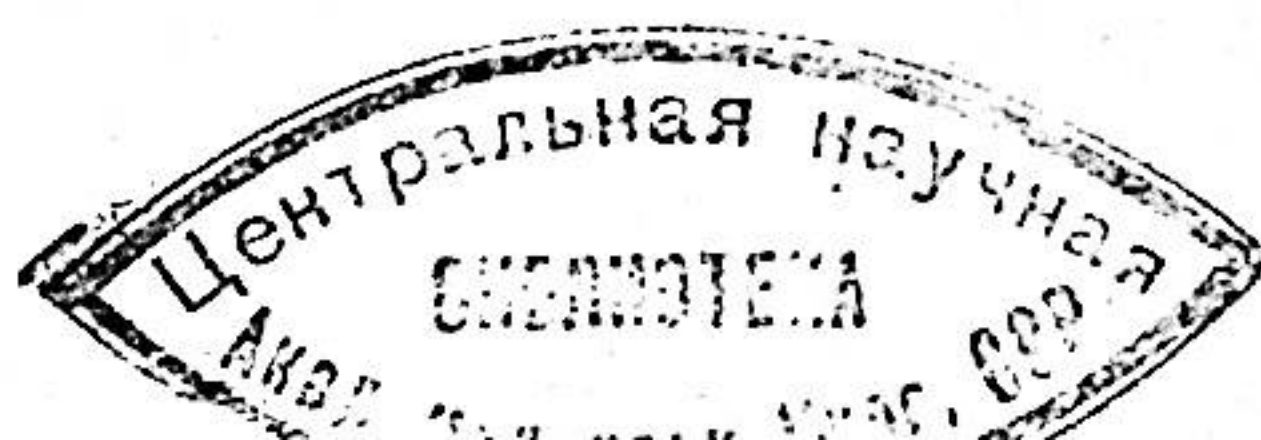
И. А. ЗАЙЦЕВ

ИССЛЕДОВАНИЕ РАЗРЯДА "АНОДНОЕ СВЕЧЕНИЕ" И
ИЗУЧЕНИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ЕГО ТЕХНИЧЕСКОГО
ПРИМЕНЕНИЯ.

/Специальность № 05.297 - "Электровакuumные
и газоразрядные приборы и технологии их
производства"/

А в т о р е ф е р а т
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Рязань - 1971



Работа выполнена на кафедре "Ионные приборы" Рязанского радиотехнического института.

Научный руководитель - кандидат физико-математических наук, доцент А.А.НИКОЛАЕВ.

Официальные оппоненты:

доктор технических наук, профессор А.А.ПОТСАР,
кандидат технических наук Ю.Д.ХРОМОЙ.

Автореферат разослан "10" мар 1971 г.

Защита диссертации намечается на "11" июня 1971 г.
на заседании Совета по присуждению ученых степеней Рязанского радиотехнического института, г.Рязань, ул.Гагарина, 59/1.

С диссертацией можно ознакомиться в научной библиотеке института.

Ученый секретарь Совета

А.Ф.СТЕПАНОВ

В начале 60-х годов в литературе появились сообщения о новом газоразрядном приборе - таситроне. Таситрон представляет собой газонаполненный триод с накалимым катодом и мелкоструктурной сеткой. Такие триоды при определенных условиях допускают сеточное управление разрядным током и таким образом сочетает в себе преимущества вакуумных и газоразрядных ламп. Возможность сеточного управления током таситрона связывается в литературе с существованием в его катодно-сеточной области разряда типа "анодное свечение" $x/$. Предполагается, что таситрон теряет свои управляющие свойства, когда разряд а.с. в катодно-сеточной области прибора переходит в обычную тиратронную форму. В связи с изложенным интерес к разряду а.с. в последнее время существенно возрос.

Разряд а.с. наиболее отчетливо наблюдается в плоских газонаполненных диодах с накалимым катодом в области давлений от сотен долей до нескольких единиц мм рт.ст. В этом разряде анод диода покрыт тонкой /до долей миллиметра/ светящейся пленкой, и практически все приложенное к диоду напряжение сосредоточено в узкой области у анода. Вся остальная часть диода занята темной плазмой, потенциал которой близок к потенциалу катода. При повышении разрядного тока разряд а.с. при некоторой критической величине тока становится неустойчивым и скачкообразно переходит в другие формы разряда. Эта

$x/$ Далее для краткости разряд "анодное свечение" обозначается как разряд а.с.

критическая величина тока называется током перехода разряда а.с.. Разряд а.с. является исходной слаботорочной формой разряда с накалившимся катодом. Плотность тока в разряде а.с. не превышает, как правило, десятков или сотен миллиампер на квадратный сантиметр. Этот вид разряда обычно не обнаруживается в сильноточных газоразрядных приборах, и в связи с этим его изучению не уделялось существенного внимания. Отсутствовала ясная физическая картина явлений в этом разряде, не были изучены вопросы его технического применения.

Настоящая диссертационная работа посвящена исследованию основных характеристик разряда а.с. и изучению возможностей его применения в технике. Работа состоит из четырех глав, Заключение и Приложение.

Первая глава диссертационной работы является обзором существующих представлений о разряде а.с. В опубликованных работах описаны внешние признаки разряда а.с., сделана попытка теоретического анализа этого разряда и приведены некоторые результаты зондовых измерений плазмы разряда а.с. Данный в рассмотренных работах теоретический анализ разряда а.с. приводит к неуклонно возрастающей вольтамперной характеристике, не объясняющей благодаря этому неустойчивости разряда а.с., возникающей при достижении некоторой критической величины разрядного тока. Критерии устойчивости разряда а.с. даны в рассмотренных работах на основании полуинтуитивных соображений и не имеют практической ценности.

Результаты зондовых измерений плазмы разряда а.с.,

приведенные в этих работах, являются достаточно точными. В частности, потенциал плазмы разряда измерялся методом накалившегося зонда. Этот метод применим лишь тогда, когда потенциал плазмы гораздо больше $\frac{kT_z}{e}$ / T_z - температура накалившегося зонда; k - постоянная Больцмана; e - заряд электрона/. Потенциал плазмы разряда а.с. по результатам описываемых измерений составляет величину порядка $\frac{kT_z}{e}$, и поэтому не мог быть достаточно точно измерен методом накалившегося зонда. Далее в работах принималось, но не доказывалось, что распределение электронов по скоростям в плазме разряда а.с. является максвелловским. Обработка зондовых характеристик проводилась в соответствии с этим недоказанным предположением.

В первой главе рассматриваются также данные о таситронной форме разряда. Эта форма разряда, обнаруженная в режимах непрерывного горения газонаполненных триодов с густыми сетками, характеризуется наличием в приборе двух участков плазмы: один - в катодно-сеточной области с потенциалом, близким к потенциалу катода; другой - в анодно-сеточной области с потенциалом, близким к потенциалу анода. В области сетки существует скачок потенциала, согласующий потенциалы катодной и анодной плазм. Разряд в катодно-сеточной области рассматривается как разряд а.с.. При такой форме разряда возможно сеточное управление разрядным током. Такие приборы были названы таситронами.

Газонаполненные триоды с мелкоструктурными гус-

тыми сетками /ячейки сетки составляют доли миллиметра/ были испытаны в импульсном режиме горения. При этом обнаружено, что в импульсном режиме горения сетка может прерывать токи плотностью порядка нескольких ампер на квадратный сантиметр. Возможность гашения сеткой разряда в импульсном триоде объясняется в литературе предположением о существовании в катодно-сеточной области триода разряда а.с. также и в импульсном режиме горения. Такие приборы получили название импульсных таситронов, хотя прямых доказательств существования разряда а.с. в катодно-сеточной области этих приборов при импульсном режиме горения не имелось.

Таситронный разряд к настоящему времени изучен совершенно недостаточно, что связано главным образом с отсутствием обоснованной теории разряда а.с.

Вторая глава диссертационной работы посвящена теоретическому и экспериментальному исследованию разряда а.с. в плоских диодах. Задачей исследования являлось выяснение основных физических явлений в разряде а.с. и создание более удовлетворительной, чем существующие теории этого разряда. Разряд а.с. в диодах с накалимым катодом в большинстве газов наиболее четко наблюдается при давлениях порядка десятых долей тор. При этом в плазме разряда электроны испытывают сравнительно небольшое число упругих соударений с молекулами газа с пренебрежимо малой потерей энергии. Можно поэтому ожидать, что максвелловское распределение по скоростям электронов, ускоряемых полем плазмы, не устанавливается.

Проведенные в настоящей работе зондовые измерения плазмы разряда а.с. подтверждают предположение о немасвелловском распределении электронов по скоростям. Зондовая характеристика разряда а.с. отличается от экспоненциальной лэнгмюровской характеристики. В некотором интервале напряжения зондовая характеристика разряда а.с., построенная в натуральных координатах, линейна. Известно, что функция распределения электронов по скоростям пропорциональна второй производной от зондового тока по задерживающему потенциалу зонда. Поэтому наличие прямолинейного участка на зондовой характеристике указывает на отсутствие в плазме разряда а.с. электронов в некотором интервале энергий. Интервал напряжений, в котором нет электронов, равен естественно ускоряющему потенциалу плазмы относительно сечения минимума потенциала у накаливаемого катода. Таким образом потенциал плазмы разряда а.с. относительно сечения минимума потенциала определяется из зондовой характеристики, как протяженность прямолинейного участка по оси напряжения зонда.

По результатам зондовых измерений найдено распределение концентрации заряженных частиц и распределение потенциала вдоль разрядного промежутка в различных газах и при различных разрядных условиях. Значение концентрации частиц в разряде а.с. составляет обычно $10^8 - 10^9$ $1/\text{см}^3$. Потенциал плазмы приблизительно линейно возрастает к аноду и составляет в среднем 0,5 - 1,5 вольта. относительно минимума потенциала.

Наиболее существенным результатом выполненных зондовых измерений является обнаружение небольшого /0,1 - 1 вольт/ скачка потенциала волизи катода. В ранних работах этот скачок потенциала в связи с ошибками измерений не был обнаружен. Учет прикатодного скачка потенциала весьма существенен для понимания физических явлений в разряде а.с.

На основе проведенных зондовых измерений создана физическая модель разряда и даны простые соотношения, связывающие параметры разряда с разрядными условиями. По принятой модели ионы, образованные у анода, идут под действием электрического поля к катоду, компенсируют минимум потенциала и обеспечивают отбор тока с катода. Избыточное образование ионов у анода приводит к неустойчивости разряда а.с.

Исходными соотношениями, положенными в основу анализа разряда а.с. являются: уравнение образования ионов у анода; выражение для напряженности электрического поля в анодном слое; выражение, описывающее прохождение ионов через скачок и область минимума потенциала. В результате найдено следующее простое выражение для вольтамперной характеристики разряда а.с.

$$V = V_i + \frac{A I_n^{\frac{1}{2}}}{\rho^{\frac{1}{2}}} \cdot \left(\frac{I}{I_n} \right)^{\frac{3}{2}} \cdot \left(1 - \frac{3}{4} \frac{I}{I_n} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (1)$$

где V - напряжение анода;

V_i - потенциал ионизации газа;
 I - плотность разрядного тока;
 I_n - плотность тока перехода;
 ρ - давление газа.

Коэффициент A зависит от рода газа и определяется выражением:

$$A = \left(\frac{36 \pi m}{c^2 \sqrt{\frac{2e}{m}} M} \right)^{\frac{1}{4}} V_i^{\frac{1}{8}} \quad (2)$$

Здесь m - масса электрона;

M - масса иона;

C - тангенс угла наклона кривых ионизации газа.

Полученная теоретическая вольтамперная характеристика разряда а.с. является возрастающей при малых разрядных токах, и падающей при $I > I_n$. Таким образом найденная вольтамперная характеристика содержит в себе указания на неустойчивость разряда а.с. при повышенных токах. С физической точки зрения неустойчивость разряда а.с. связана с искажением электрического поля у анода объемным зарядом положительных ионов. Это искажение приводит к прогрессирующему расширению области ионизации у анода, и в конце концов к переходу разряда а.с. в другие формы разряда. Из найденной теоретической вольтамперной характеристики следует, что превышение потенциала анода над потенциалом ионизации газа меньше у тяжелых газов и падает с ростом давления.

Экспериментальная проверка полностью подтвердила теоретические выводы. При построении расчетных вольтамперных характеристик значения I_n брались из опыта. Расхождение между расчетными и опытными вольтамперными характеристиками не превышает 10%. Это доказывает справедливость предложенной модели разряда и лежащих в её основе допущений.

Теоретический анализ позволяет также установить следующее соотношение, связывающее плотность тока перехода разряда а.с. с другими параметрами разряда:

$$I_n = \frac{1 - e^{-\rho Q_i d_m}}{(1 + \rho Q_e d \frac{kT}{eU_n})^2} I_s \quad (3)$$

где Q_i - полное сечение соударений ионов с молекулами газа при стандартных условиях;
 Q_e - то же для электронов;
 d_m - ширина области минимума потенциала;
 d - расстояние между катодом и анодом диода;
 T - температура катода;
 U_n - потенциал плазмы относительно сечения минимума потенциала у катода;
 I_s - плотность тока эмиссии катода.

Величины d_m и U_n в общем случае зависят от разрядных условий и, в частности, от разрядного тока. Эта зависимость в полном объеме еще далеко не ясна, и поэтому выражение (3) должно рассматриваться только как

Качественное. Если отвлечься от возможной зависимости d_m и U_n от ρ и I , то формула (3) предсказывает рост тока перехода с давлением в области малых ρ и падение тока перехода в области повышенных давлений. Кроме того ток перехода в соответствии с 3 должен возрастать с ростом эмиссии катода. Все эти выводы подтверждаются опытом для случая тяжелых наполняющих газов.

С целью выяснения возможности существования разряда а.с. в катодно-сеточной области импульсного таситрона в работе проводилось исследование разряда а.с. при импульсном питании диода. Методика исследований сводилась к следующему. На анод диода через сопротивление в несколько килоом подавался прямоугольный импульс напряжения с регулируемой амплитудой и длительностью. Процесс формирования разряда а.с. наблюдался на экране импульсного осциллографа, подключенного к аноду диода. После короткого /порядка микросекунды/ времени пробоя промежутка наблюдалась длительная стадия формирования разряда, в течение которой напряжение анода близко к нулю. Длительность этой стадии может достигать /особенно в случае тяжелых газов/ сотен микросекунд и увеличивается с ростом давления. Затем следует подъем анодного напряжения и установление стационарной формы горения разряда а.с.

Установлено, что плотность тока перехода импульсного разряда а.с. того же порядка, что и в непрерывном режиме горения и не превышает сотни миллиампер на квадратный сантиметр. Время формирования разряда а.с. в диоде сос-

тавляет десятки и сотни микросекунд. Эти результаты заставляют усомниться в возможности существования разряда а.с. в катодно-сеточной области импульсного таситрона, время развития разряда в котором составляет обычно сотые или десятые доли микросекунды, а плотность разрядного тока может достигать нескольких ампер на квадратный сантиметр.

Для окончательной проверки достаточно широко распространенного мнения о существовании разряда а.с. в катодно-сеточной области импульсных таситронов были предприняты зондовые измерения непосредственно импульсного разряда в таситронах.

Этому посвящена третья глава диссертационной работы. Зондовые измерения проводились в триодах с мелкоструктурными сетками плоско-параллельной конструкции. Вольфрамовые подвижные зонды диаметром 80 микрон и длиной рабочего участка 6 миллиметров размещались в катодно-сеточной и анодно-сеточной областях прибора. Анод и сетка были сделаны подвижными с целью изучения зависимости характеристик разряда от межэлектродных расстояний. Измерения проводились в атмосфере водорода при давлениях от сотых до десятых долей тор.

Методика измерений сводилась к следующему. Устанавливался импульсный режим горения таситрона. Фиксировались напряжение и ток на электродах прибора. На зонд подавалось постоянное регулируемое напряжение накопительной емкости. Во время импульсного горения таситрона на зонд тек ток, величина которого определяется разностью между

потенциалами зонда и плазмы. Величина тока на зонд измерялась с помощью осциллографа по падению напряжения на измерительном сопротивлении в цепи зонда. Потенциал зонда во время импульса определялся как разность между напряжением накопительной емкости и падением потенциала на измерительном сопротивлении. С увеличением потенциала зонда величина импульсов тока на зонд быстро возрастала. При достижении зондом потенциала плазмы рост тока на зонд замедлялся как и в обычном случае зондовых измерений в непрерывном режиме горения.

Логарифмическая зондовая характеристика разряда в импульсном таситроне оказалась линейной, что указывает на максвелловское распределение электронов по скоростям и допускает обычную лэнгмюровскую методику обработки зондовых характеристик. Потенциал катодно-сеточной плазмы в импульсном таситроне, определенный по зондовой характеристике, составляет 25-30 вольт против долей вольта в разряде а.с. Концентрация заряженных частиц - порядка 10^{12} $1/\text{см}^3$. В процессе исследований определялось распределение потенциала по промежутку в катодной и анодной областях импульсного таситрона. Распределение потенциала оказалось таким же, как в обычном таситроне. Ни в одном режиме работы прибора таситронный разряд не был обнаружен.

Проведенные зондовые измерения показали, что импульсный таситрон - это таситрон с мелкоструктурной сеткой. Управляемость импульсных "таситронов" связана с использованием в приборах мелкоструктурной сетки, ма-

лых давлений газа, сравнительно малых плотностей тока и с отсутствием при этих условиях контракции разряда в сеточных отверстиях.

В четвертой главе диссертационной работы описывается одно из возможных технических применений разряда а.с. Это применение заключается в определении давления газа в готовых газоразрядных приборах по длительности времени формирования в них разряда а.с. Установлено, что наличие низковольтного участка на осциллограмме анодного напряжения при развитии импульсного разряда а.с. связано с возникающим при пробое избытком заряженных частиц и их последующим постепенным исчезновением на электродах, окружающих стенки и экранах. Поскольку при малых давлениях время деионизации увеличивается с ростом давления газа, то по длительности низковольтной стадии формирования разряда а.с. можно судить, при прочих равных условиях о величине давления газа в приборе.

Исследования проводились на макетах плоских диодов, наполненных различными газами / H_2 , Ar , He / в диапазоне давлений от 0,05 до 1 тор. Применялась следующая методика измерений. На анод диода через параллельную RC цепочку подавался прямоугольный импульс напряжения. Измерялась зависимость длительности τ низковольтной стадии формирования разряда а.с. от давления и рода газа, расстояния между электродами и температуры катода. В согласии с общими положениями теории амбиполярной диффузии установлено, что длительность τ в области давлений от 0,05 до 1 тор линейно возрастает с ростом

давления, увеличивается при наполнении тяжелыми газами и возрастает при увеличении расстояния между электродами. Величина τ в области нормальных накалов катода практически не зависит от температуры катода. Лишь при реаком недокале катода или при чрезвычайно низкой его эмиссии τ заметно падает.

С целью изучения возможности измерения давления в серийных газоразрядных приборах изучались процессы развития разряда а.с. в тиратронах ТГ1-2/8, выпускаемых отечественной промышленностью. Результаты этих исследований аналогичны описанным выше для плоских диодов. Таким образом показана возможность использования особенностей развития разряда а.с. для целей создания датчиков давления и измерения давления газа в серийных газоразрядных приборах.

Для удобства измерения длительности τ низковольтной стадии формирования разряда а.с. изготовлено небольшое по габаритам и весу радиотехническое устройство, преобразующее временные интервалы τ в пропорциональные показания электроизмерительного стрелочного прибора. Проградуированное по давлению такое устройство весьма удобно в заводских условиях. С помощью такого устройства на Рязанском заводе электронных приборов изучалось изменение давления газа в серийных газоразрядных приборах в течение их срока службы.

В Приложении дается краткое рассмотрение условий существования таситронной формы разряда в газонаполненных триодах. Показано, что этот вид разряда су-

существует, как и разряд а.с., только при небольших плотностях разрядного тока.

Основные результаты работы можно кратко сформулировать следующим образом.

1. Выяснены основные явления в разряде а.с. Дана более точная, чем в литературе, теория этого разряда. Теоретические соотношения вполне удовлетворительно подтверждаются опытом.

2. Показано, что разряд а.с. отсутствует в обычных импульсных таситронах, работающих в режиме импульсов микросекундной длительности при плотностях тока порядка ампер с квадратного сантиметра. Такие импульсные таситроны являются водородными тиратронами с мелкоструктурными сетками.

3. Таситронная форма разряда существует лишь при малых токах /порядка тока перехода разряда а.с./. В импульсных газонаполненных таситронах эта форма разряда может устанавливаться лишь при работе с малыми токами в режиме длинных импульсов, к качеству фронтов которых не предъявляется жестких требований.

4. Дано одно из возможных технических приложений разряда а.с., заключающееся в измерении давления газа в готовых газоразрядных приборах.

Материалы диссертационной работы опубликованы в следующих работах:

1. И.А.Зайцев, А.А.Николаев. Расчет функций распределения электронов в газонаполненном диоде. Электронная техника, серия 3, № 3, 1966 г.
2. И.А.Зайцев, А.А.Николаев, В.И.Хоточкин. Основные соотношения теории разряда "анодное свечение". Электронная техника, серия 3, выпуск 1/13/, 1969 г.
3. И.А.Зайцев, И.Г.Кожевников, А.А.Николаев, С.П.Шумаков. Зондовые измерения разряда в импульсных таситронах. Электронная техника, серия 3, выпуск 3/15/, 1969 г.
4. И.А.Зайцев, А.А.Николаев, В.И.Хоточкин. Характеристики разряда "анодное свечение". Электронная техника, серия 3, выпуск 1/17/, 1970 г.

Материалы докладывались на:

1. П Всесоюзной научно-технической конференции по газоразрядным приборам, 1967 г.
2. XVI итоговой научно-технической конференции профессорско-преподавательского состава Рязанского радиотехнического института, секция электроники, 1971 г.

НБ-01309 от 4.05.71г.

ВЦ Рязоблстатуправления, зак. №242, тир. 150 - 71г.