

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПЕРЕХОДА РАЗРЯДА В ИНЕРТНЫХ ГАЗАХ
И СМЕСИ ИНЕРТНОГО ГАЗА С ВОДОРОДОМ ИЗ ДИФФУЗНОГО
СОСТОЯНИЯ В КОНТРАГИРОВАННОЕ****Г.И.ГАРИБОВ***Бакинский Государственный Университет**garibov_gi@yahoo.com*

В работе представлены результаты экспериментального изучения перехода разряда в кryptonе, ксеноне и смеси ксенона с молекулярным водородом из диффузного состояния в контрагированный режим горения. Определено критическое значение силы разрядного тока, соответствующего переходу диффузного разряда к контрагированному. Показано, что добавление примеси водорода к ксенону вызывает увеличение критического значения силы разрядного тока по сравнению с разрядом в чистом ксеноне. Обсуждается роль молекулярного газа, который приводит к уменьшению температуры электронов в разряде и снижению скорости ионизации атомов газа. Предполагается, что при наличии молекулярной примеси необходимая для возникновения контракции, температура газа в присоединенной области разряда достигается при большей концентрации электронов, т. е. при большем токе разряда по сравнению с разрядом в чистом ксеноне.

Известно, что контракция положительного столба является универсальным физическим явлением, возникающим в газовом разряде при повышенных значениях давления газа или силы разрядного тока [1,2]. Она проявляется в том, что при превышении определенного значения давления или силы разрядного тока, однородное горение разряда нарушается и разряд переходит в контрагированный режим горения. В результате контракции столб разряда сжимается и размер области, занимаемой разрядом, оказывается значительно меньше радиуса трубки. Контракция ограничивает диапазон параметров разряда, используемого в различных устройствах, малыми значениями давления и разрядного тока [3]. В последние годы широко используются газовые лазеры, работающие в смесях атомарных газов с молекулярными. С другой стороны, газовый разряд, получаемый в различных экспериментальных установках, почти всегда содержит определенную примесь постороннего газа. Эта примесь, в основном, состоит из молекулярных газов, десорбирующихся со стенок конструктивных элементов установки и может влиять на свойства разряда. Поэтому изучение контракции разряда в чистых инертных газах и влияния примеси молекулярного газа к атомарному газу на условия перехода разряда в контрагированный режим является весьма актуальной задачей. В связи с этим в настоящей работе экспериментально изучается контракция разряда в инертных газах, а также смеси инертного газа с молекулярным.

Разряд создавался в цилиндрической стеклянной трубке длиной около 1 м и внутренним диаметром 3,2 см. В области положительного столба в трубку впаяны два плоских стеночных зонда, расстояние между которыми составляло 10,5 см. Они использовались для измерения продольного электрического поля в столбе разряда и плотности ионного тока, идущего на стенку трубки. В трубке использовались оксидный подогревный катод и плоский молибденовый анод диаметром 28 мм. Водород вводился в разрядную трубку из водородного генератора, вмонтированного в специальном отростке к трубке со стороны катода. Необходимость использования водородного генератора обусловлена тем, что во время эксперимента количество водорода в трубке может изменяться. При неизменном напряжении накала подогревателя водородный генератор восполняет потери водорода и поддерживает давление водорода в трубке на постоянном уровне. Водородный генератор градуировался по зависимости давления водорода от напряжения на подогревателе. Учитывая уменьшение количества водорода в генераторе после каждой серии экспериментов, градуировка генератора повторялась.

Опыты проводились в криптона, ксеноне при давлениях $1 \div 10$ Тор, а также в смеси ксенона с молекулярным водородом. Содержание водорода в смеси $Xe - H_2$ менялось до 2%. Сила разрядного тока изменялась в интервале $1 \div 200$ мА.

На рис. 1 приведены вольтамперные характеристики положительного столба разряда в криптона при давлениях 5,6 и 10 Тор. Как видно, характеристики состоят из двух ветвей. Левые ветви характеристик до скачка соответствуют диффузионному режиму горения разряда, когда разряд заполняет все сечение разрядной трубки.

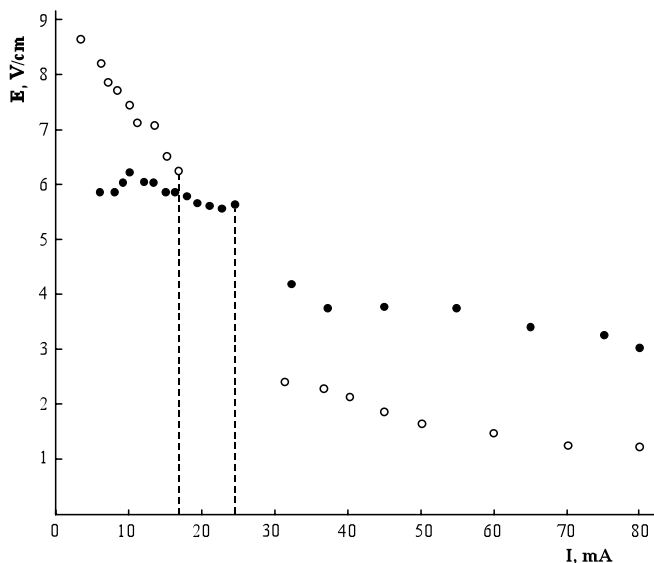


Рис. 1. Вольтамперная характеристика разряда в области перехода из диффузного в контрагированное состояние. Криптон.

..... - P= 5,6 Тор ; ○○○○ - P= 10 Тор

При определенном критическом значении силы разрядного тока I_c происходит скачкообразное изменение напряженности электрического поля и силы разрядного тока: напряженность поля уменьшается, а сила тока возрастает. Разряд переходит в контрагированный режим горения. Изменение характера горения можно установить также из визуальных наблюдений. При достижении силой тока значения I_c разряд резко отходит от стенок трубки, превращается в узкий ярко светящийся токовый шнур и располагается у оси разрядной трубки. Критическое значение силы тока, соответствующее переходу разряда в контрагированное состояние, уменьшается с ростом давления. Как видно из рис. 1, при $p = 5,6$ Тор критический ток составляет $I_c = 24$ мА, а при увеличении давления до значения $p = 10$ Тор величина I_c становится равной 17 мА.

Результаты измерений критического тока контракции в смеси $Xe - H_2$ представлены на рис. 2. Данные графика получены при давлении ксенона $P = 8,67$ Тор и различных процентных содержаниях водорода в смеси. На оси ординат отложено значение критического тока контракции, соответствующего чистому ксенону. Из рисунка видно, что значение I_c в смеси $Xe - H_2$ больше, чем в чистом ксеноне и растет с увеличением процентного содержания водорода в смеси, т. е. добавление молекулярного водорода к ксенону стабилизирует разряд.

Контракция разряда может происходить в результате действия различных физических процессов. Поэтому существуют различные механизмы сжатия разряда. Но все эти механизмы, приводящие к контракции разряда, действуют, таким образом, что выполняются два условия: во-первых, нейтрализация заряженных частиц происходит в результате объемной рекомбинации, во-вторых, частота образования заряженных частиц является резко спадающей от оси к стенкам разрядной трубки, т. е. заряженные частицы образуются в приосевой области трубки.

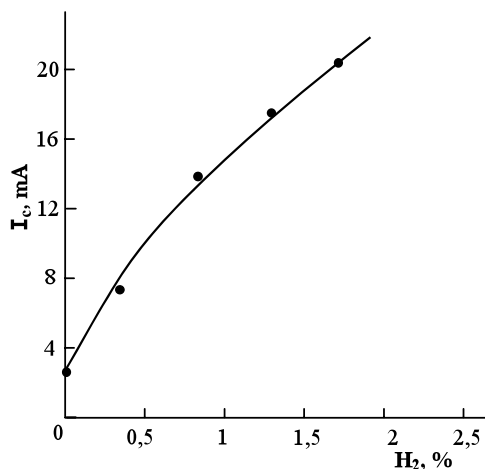


Рис.2. Зависимость критического тока контракции от процентного содержания водорода в смеси $Xe - H_2$; $P_{Xe} = 8,67$ Тор.

Объемная рекомбинация заряженных частиц пропорциональна квадрату концентрации электронов. Поэтому вклад объемной рекомбинации в нейтрализации заряженных частиц наиболее существен в приосевой области разрядной трубки, где концентрация электронов максимальна. С ростом силы разрядного тока и давления газа роль объемной рекомбинации в нейтрализации заряженных частиц возрастает.

Возникновение резкой радиальной зависимости частоты ионизации может быть вызвано различными причинами. Одной из этих причин является тепловой механизм. Он вызван повышенным джоулевым нагревом газа вблизи оси разрядной трубки.

Поскольку через разрядную трубку протекает ток, то внутри нее выделяется тепловая энергия. В стационарных условиях тепло, выделяемое в трубке, уносится на стенки трубки за счет молекулярной теплопроводности. Поэтому температура газа вблизи оси трубки оказывается больше, чем у ее стенок. Давление газа в стационарных условиях должно оставаться постоянным по всему его объему. В силу известного уравнения газового состояния $P = NkT$ пространственная температурная неоднородность разряда вызывает неоднородность плотности атомов газа N по радиусу разрядной трубки (k – постоянная Больцмана). В приосевой области трубки, где температура газа T больше, плотность его N оказывается меньше. Это приводит к увеличению приведенной напряженности электрического поля E/N , где E – напряженность электрического поля в положительном столбе. Так как частота ионизации нейтральных частиц газа электронами является сильно возрастающей функцией отношения E/N , то частота ионизации оказывается у оси трубки более высокой, чем на периферии. Концентрация электронов в приосевой области еще больше увеличивается, что приводит к дальнейшему нагреву и, следовательно, расширению газа. В результате у приосевой области трубки создаются более благоприятные условия протекания тока и разряд контрагирует.

Основное отличие молекулярного газа от атомарных состоит в наличии у молекул большего числа колебательных и вращательных уровней энергии. При столкновении с молекулой энергия электрона расходуется, прежде всего, на возбуждение этих уровней [4]. Поэтому, при наличии молекулярной примеси в ксеноновом разряде, из-за увеличения потерь энергии электронов на возбуждение колебательных уровней молекул водорода, уменьшается температура электронов. Это приводит к снижению скорости ионизации атомов газа электронами. Разогрев газа, вызываемый столкновениями электронов с атомами, также замедляется, температура газа на оси разряда уменьшается по сравнению с разрядом в чистом ксеноне. При наличии молекулярной примеси необходимая для возникновения контракции температура газа в приосевой области разряда достигается при большей концентрации электронов, т. е. при большем токе разряда по сравнению с разрядом в чистом ксеноне.

ЛИТЕРАТУРА

1. Райзер Ю.П. Физика газового разряда. М.: Наука, 1987, 590 с.
2. Елецкий А.В., Смирнов Б.М. Неоднородная газоразрядная плазма. УФН, 1996, т. 166, № 11, с. 1197-1217.
3. Веденов А.А. Физика электроразрядных CO_2 - лазеров. М.: Энергоиздат, 1982, 111 с.
4. Елецкий А.В., Палкина Л.А., Смирнов Б.М. Явления переноса в слабоионизированной плазме. М.: Атомиздат, 1975, 333 с.

TƏSİRSİZ QAZLARDA VƏ TƏSİRSİZ QAZLA HİDROGEN QARIŞIĞI BOŞALMALARINDA DİFFUZ HALDAN KONTRAKSİYAYA KEÇİDİN TƏDQIQI

Q.İ.QƏRİBOV

XÜLASƏ

İşdə kripton, ksenon və ksenonla molekulyar hidrogen qarışığı boşalmalarının diffuz haldan kontraksiya rejiminə keçidi təcrübi tədqiq olunub. Boşalmanın diffuz yanma rejimindən kontraksiya halına keçidinə uyğun olan cərəyan şiddətinin böhran qiymətləri təyin edilib. Göstərilib ki, ksenon qazına hidrogen aşqarının əlavə edilməsi kontraksiyanın böhran cərəyanının qiymətini artırır. Molekulyar qazın boşalmada elektronların temperaturunu azaltması və qaz atomlarının ionlaşma sürətini yavaşıtması müzakirə olunur. Göstərilir ki, ionlaşma sürətinin belə dəyişməsi qazın qızmasını ləngidir və boşalma borusunun oxunda qazın temperaturu təmiz ksenondakına nisbətən azalır. Ona görə də molekulyar aşqar iştirak etdiyi boşalmada qazın temperaturunun kontraksiyanın yaranması üçün kifayət edən qiyməti təmiz ksenondakına nisbətən cərəyanın daha böyük qiymətlərində alınır.

INVESTIGATION OF DISCHARGE TRANSITION IN INERT GAS AND INERT GAS MIX HYDROGEN FROM DIFFUSION STATE TO CONTRACTION

G.I.GARIBOV

SUMMARY

The article presents the results of experimental study of transition from diffused to contracted discharges in krypton, xenon and xenon mix with the molecular hydrogen. The critical value of discharge current for transition is obtained. It was shown that the addition of hydrogen to xenon results to increase the critical value of contraction current. The influence of the molecular gas addition, which decreases the electron temperature in discharge and ionization rate of gas atoms, is discussed. It was established that the necessary gas temperature for the appearing of discharge contraction is reached at higher electron number densities, i. e. at high discharge currents in comparison with the discharge pure xenon.