

## О ВОЗБУЖДЕНИИ ОБЪЕМНЫХ РАЗРЯДОВ В ГАЗЕ ПРИ ВЫСОКОМ ДАВЛЕНИИ ЭЛЕКТРОННЫМ ПУЧКОМ, ПОЛУЧАЕМЫМ С ПОМОЩЬЮ РАЗРЯДА НИЗКОГО ДАВЛЕНИЯ

Ю. И. Бычков, Ю. Е. Крейнделль, Г. А. Месяц,  
А. Г. Филонов

(Томск)

Возможность зажигания самостоятельного разряда в газе при давлении выше атмосферного путем ионизации газа в объеме электронным пучком [1] открыла большие перспективы для создания мощных газовых ОКГ [2]. В электронных пушках в качестве источников электронов используются катоды, работающие на принципе взрывной эмиссии [3], а также накаленные катоды. Источники электронов со взрывной эмиссией позволяют получать большие плотности электронного тока при длительности  $10^{-8}$  ÷  $10^{-6}$  сек. С помощью накаленных катодов можно получать электронные пучки в широком диапазоне длительности импульса, но эти источники имеют ряд недостатков, например потребление большой мощности на накал, разрушение катода при попадании воздуха в камеру.

Для электроионизационных  $\text{CO}_2$ -лазеров требуются надежные в эксплуатации источники электронов, которые могли бы обеспечить электронные пучки большой длительности (от  $10^{-5}$  сек до непрерывных) при высокой частоте следования и при большой эмиссионной поверхности.

В ряде случаев эта задача может быть решена использованием плазменных источников электронов ПИЭЛ [4,5], основанных на извлечении электронов из разрядов низкого давления с холодным катодом. Основные достоинства этого метода следующие:

1) при использовании ПИЭЛ импульсные пучки могут быть получены благодаря применению низковольтных импульсных разрядов низкого давления. Импульсные разряды в ПИЭЛ обеспечивают при постоянном ускоряющем напряжении импульсную электронную эмиссию, реализация которой при использовании термокатодов часто затруднена вследствие их тепловой инерции;

2) разряды низкого давления могут устойчиво гореть в больших объемах. Это открывает принципиальную возможность создания больших плазменных эмиссионных поверхностей и электронных пучков с большой площадью и требуемой конфигурацией поперечного сечения. Большие эмиссионные поверхности при низких давлениях могут быть получены в результате проникновения плазмы из разрядной камеры в специальную эквипотенциальную полость, называемую экспандером;

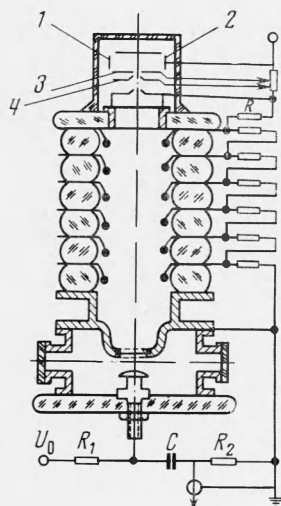
3) ПИЭЛ с холодным катодом в широком диапазоне низких давлений не чувствительны к ионной бомбардировке и к внезапному нарушению герметичности вакуумной системы, что значительно повышает надежность использующих их установок и упрощает их эксплуатацию.

Возбуждение объемного разряда высокого давления с помощью электронного потока, извлекаемого из импульсного разряда низкого давления, производилось при использовании экспериментальной установки, схематически изображенной на фиг. 1. Установка включает в себя секционированную ускоряющую трубку с ПИЭЛ, обеспечивающую ток электронного пучка до 3 а, блок питания ускорителя на основе генератора Аркадьева — Маркса, обеспечивающий одиночные импульсы напряжения длительностью до 30 мксек с амплитудой до 250 кВ, и разрядную камеру высокого давления. Напряжение на электроды ПИЭЛ и секционированной ускоряющей трубки подавалось от генератора Аркадьева — Маркса через омический делитель напряжения.

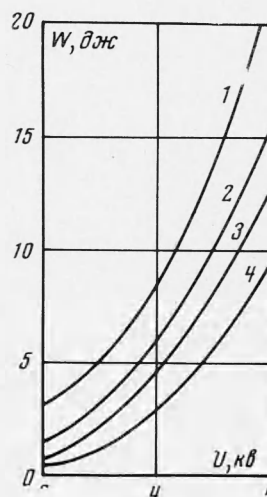
В установке использовался ПИЭЛ на основе дугового контрагированного разряда с холодным катодом в магнитном поле [5]. При напуске в источник газа и подаче импульсного напряжения между стальными катодами 1, 2 и промежуточным медным рамочным анодом 3 зажигался пеннинговский разряд, переходящий в дугу, которая через отверстие в промежуточном аноде перебрасывалась на главный анод 4. Магнитное поле между катодами, обеспечиваемое постоянными магнитами, не превышало 600 э. Отбор электронов производился с помощью извлекающего электрода с развитой границы плазмы, проникающей в экспандер диаметром 15 мм, через малое отверстие в главном аноде. В области извлечения магнитное поле деформировано с помощью запрессованной в промежуточный анод ферромагнитной вставки и стального главного анода. Установленная в экспандере сетка с прозрачностью 0.8 определяет форму и положение эмиттирующей поверхности. Этим обеспечивается жесткая электронная оптика при отборе электронов из плазмы. Сетка повышает также стабильность горения разряда и отбора электронов из плазмы.

Извлекающее напряжение 30 кВ, расход рабочего газа (воздух, аргон) не превышает 80 см<sup>3</sup>/час. Отношение извлеченного из плазмы электронного тока к току разря-

да 40%. Относительно высокая эффективность извлечения электронов позволяет запитывать электронный источник от делителя, распределяющего напряжение между секциями ускорительной трубки, и, таким образом, отказаться от находящейся под высоким напряжением отдельной схемы питания эмиттера, необходимой в случае применения термокатода.



Фиг. 1



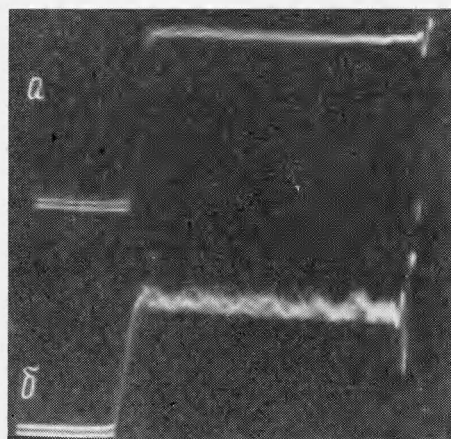
Фиг. 2

Благодаря использованию импульсной электронной эмиссии, обеспечиваемой импульсным разрядом, средняя мощность, потребляемая разрядом при длительности 10 мксек и частоте повторения 1 гц, не превышает 0.1 вт, что повышает экономичность электронно-лучевой системы и исключает трудности обеспечения теплового режима конструкции. Ускоренный электронный пучок диаметром 10 см через алюминиевую фольгу или пленку из майлара впускался в газ высокого давления. Объем газоразрядной камеры высокого давления 30 см<sup>3</sup>, а запитывалась она от конденсатора емкостью 2 мкф.

Исследовался объемный разряд в чистых газах N<sub>2</sub> и CO<sub>2</sub> и в их смесях при давлении 1 ÷ 2.5 атм. При напряженности поля менее 8 кв/см разряд несамостоятельный, горит в течение длительности электронного пучка и затем прекращается при сохранении неизменного напряжения на электродах. Типичная зависимость вклада энергии в газ от напряженности поля представлена на фиг. 2, где цифрами помечены кривые, относящиеся к различным составам газа: 1 — чистый N<sub>2</sub>, 2 — CO<sub>2</sub> : N<sub>2</sub> — 1 : 3, 3 — CO<sub>2</sub> : N<sub>2</sub> — 1 : 2, 4 — чистый CO<sub>2</sub>. Ток пучка 0.3 а, давление 1 атм. При более высоких напряженностях поля развивается искровой разряд. Так, при  $E \approx 10$  кв/см искровой канал возникает через десятки микросекунд после погасания объемного разряда, а при  $E > 11$  кв/см объемный разряд переходит в искровой.

Таким образом, устойчивый объемный разряд имеет место при напряженностях поля 8 кв/см и менее, при этом длительность горения разряда равна длительности электронного пучка.

Использование импульсных разрядов низкого давления позволяет получать импульсные электронные пучки не только при импульсном, но и при постоянном ускоряющем напряжении. В [4] описана электронная пушка с плазменным катодом, осно-



Фиг. 3

ванная на извлечении электронов из полокатодного отражательного разряда, которая при модуляции разряда и постоянном ускоряющем напряжении до 30 кВ обеспечивала импульсные пучки при длительности трапецеидального импульса 10, 50, 100, 300,  $10^4$  мксек при частоте повторения от 1 до 600 гц. На фиг. 3 представлены осциллограммы модулирующего напряжения (а) и электронного пучка (б) при длительности  $\tau = 150$  мксек.

Возможность модуляции с помощью импульсов напряжения малой мощности позволяет создать источники электронных пучков с большой частотой повторения.

Поступила 27 IX 1973

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Ковальчук Б. М., Кремнев В. В., Месяц Г. А. Лавинный разряд в газе и генерирование нано- и субнаносекундных импульсов большого тока. Докл. АН СССР, 1970, № 191, № 1.
2. Басов Н. Г., Беленов Э. М., Данилычев В. А., Сучков А. Ф. Импульсный  $\text{CO}_2$ -лазер с высоким давлением газовой смеси. Квантовая электроника, № 3. М., «Советское радио», 1971.
3. Месяц Г. А., Насибов А. С., Кремнев В. В. Формирование наносекундных импульсов высокого напряжения. М., «Энергия», 1970.
4. Голик П. П., Груздев В. А., Крейндель Ю. Е., Левшук Л. А. Электронная пушка с плазменным катодом. Приборы и техника эксперимента, 1968, № 5.
5. Крейндель Ю. Е., Никитинский В. А. Электронный источник на основе плазмотрона с трубкой Пеннинга. Приборы и техника эксперимента, 1970, № 1.

УДК 539.196

### РАСПАДНАЯ НЕУСТОЙЧИВОСТЬ КОЛЕБАТЕЛЬНОЙ РЕЛАКСАЦИИ В МОЛЕКУЛЯРНЫХ ГАЗАХ

*И. В. Новобранцев, А. Н. Старостин*

(Москва)

Показано, что при постоянной накачке в молекулах типа  $\text{CO}_2$  возможна осцилляционная перекачка энергии между различными модами колебаний. Указанный эффект может приводить к пиковому режиму генерации в лазерах на основе  $\text{CO}_2$ .

В лазерах на основе молекулярных газов, например  $\text{CO}_2$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ ,  $\text{H}_2\text{O}$  и т. д., величина инверсии определяется кинетикой обмена энергией между различными модами колебаний и поступательными степенями свободы. При некоторых условиях процесс обмена энергией может носить автоколебательный характер. Возникновение автоколебаний в рассматриваемом случае аналогично самовозбуждению колебаний в нелинейных механических, биологических и химических системах [1-3].

При анализе колебательной релаксации в смесях молекулярных газов обычно используется схема, развитая в [4]. Достоинством этой схемы является сведение задачи кинетики к рассмотрению системы уравнений баланса энергии для отдельных мод колебаний, что оправдано малостью времен обмена энергией между состояниями отдельной моды по сравнению с временами межмодового взаимодействия.

Запишем упрощенные уравнения, описывающие кинетику в  $\text{CO}_2$ -лазере, в виде

$$(1) \quad \frac{dn_3}{dt} = q - W [n_3 (n_2 + 1)^3 - \exp(-\delta E / T) n_2^3 (n_3 + 1)]$$

$$(2) \quad \frac{dn_2}{dt} = \frac{3}{2} W [n_3 (n_2 + 1)^3 - \exp(-\delta E / T) n_2^3 (n_3 + 1)] - n_2 / \tau_r$$

Здесь  $n_3$ ,  $n_2$  — среднее число колебательных квантов в асимметричной и двукратно вырожденной деформационной модах молекулы  $\text{CO}_2$  соответственно. Эти величины связаны с обозначениями, принятыми в [4], следующим образом:  $2n_2 = \epsilon_2$ ,  $n_3 = \epsilon_3$ . Через  $q$  обозначена скорость возникновения колебательных квантов, эффективно участвующих возбуждение асимметричной моды электронным ударом или резонансную передачу энергии от молекул  $\text{N}_2$  или  $\text{CO}$ . Источник в (2) опущен, так как при соответствующем подборе условий, например состава смеси, его влиянием на рассматриваемый