

ISSN 0021-3411

ИЗВЕСТИЯ
ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ

ФИЗИКА

ФИЗИКА ЭЛЕМЕНТАРНЫХ ЧАСТИЦ И ТЕОРИЯ ПОЛЯ

ФИЗИКА ПОЛУПРОВОДНИКОВ И ДИЭЛЕКТРИКОВ

ФИЗИКА КОНДЕНСИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ

ФИЗИКА МАГНИТНЫХ ЯВЛЕНИЙ

ОПТИКА И СПЕКТРОСКОПИЯ

КВАНТОВАЯ ЭЛЕКТРОНИКА

ФИЗИКА ПЛАЗМЫ

5·2007

ИЗДАНИЕ
ТОМСКОГО ГОСУНИВЕРСИТЕТА

$$\gamma_{-0} + e_0^- \rightarrow e_{-A}^- + g_{-A}. \quad (6)$$

Получающиеся массивные ЗЧ не действуют на детекторы в нашем мире. Это и есть основная идея поиска ЗЧ.

Техника эксперимента такова. В стенки накопительных колец коллайдеров монтируются батареи маломощных квантовых генераторов, расположенные вдоль стенок перпендикулярно циркулирующему пучку частиц. Выбранные нами энергии частиц позволяют сохранить форму орбиты электронов (протонов) в кольцах неизменной. Вместе с увеличением числа оборотов пучка (до 10^9 и более) в кольце накопителя возрастает количество реакций (6), а значит, и количество массивных ЗЧ. Поэтому логично осуществить два последовательных эксперимента. Первый опыт происходит без облучения фотонами частиц накопителя. Второй опыт проводится при включенных квантовых генераторах, фотоны которых могут взаимодействовать с частицами накопителя. Очевидно, что во втором опыте возможно уменьшение сечения контрольного процесса, например сечения аннигиляции электронно-позитронной пары в два фотона. Данный факт и будет индикатором, указывающим на существование ЗЧ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кобзарев И. Ю., Окунь Л. Б., Померанчук И. Я. // ЯФ. – 1966. – Т. 3. – С. 1154.
2. Владимирова Ю. С. // ЖЭТФ. – 1963. – Т. 45. – С. 251.

Костромской государственный
технологический университет
E-mail: physics@kstu.edu.ru

Поступило в редакцию 11.12.06.

УДК 537.5

Е.Х. БАКШТ, А.Г. БУРАЧЕНКО, М.И. ЛОМАЕВ, Д.В. РЫБКА, В.Ф. ТАРАСЕНКО, Е.А. ХРУЩ

ГЕНЕРАЦИЯ ЭЛЕКТРОННОГО ПУЧКА В АЗОТЕ И ГЕЛИИ ПРИ НИЗКОМ НАПРЯЖЕНИИ НА ГАЗОВОМ ДИОДЕ

В работах [1–6] (см. также обзоры [7–9] и ссылки в них) сообщалось о получении электронных пучков за фольгой газовых диодов, заполненных газами повышенного давления. В этих работах на промежутке подавались импульсы напряжения с амплитудой более 100 кВ. Электронный пучок был получен как на переднем, так и на заднем фронте импульса напряжения во время увеличения проводимости промежутка [7–9]. Как показали последние измерения, длительность тока пучка убегающих электронов на полувысоте при давлении различных газов 1 атм составляет $\sim 0,1$ нс [4–6, 9]. Известно также об исследованиях рентгеновского излучения из газовых диодов [10, 11] и пучков электронов за сетчатым анодом [12, 13] при малых амплитудах импульсов напряжения ≤ 20 кВ. Однако в [10–13] использовались осциллографы со сравнительно низким временным разрешением. Кроме того, при низких напряжениях на газовом диоде область генерации электронного пучка и коллектор разделялись сеткой, а, как известно, для вывода пучка убегающих электронов лучше использовать тонкую фольгу. Последнее обстоятельство влияло на точность измерений параметров электронного пучка.

Цель данной работы – исследовать параметры пучка убегающих электронов в азоте и гелии при малом напряжении на промежутке (~ 25 кВ) и определить в этих условиях время запаздывания генерации пучка и его длительность. При проведении исследований параметры пучка электронов измерялись за металлизированной пленкой, а временное разрешение коллектора и осциллографа было не хуже 0,1 нс.

Экспериментальная установка состояла из разрядной камеры и импульсного кабельного генератора [14]. Конструкция разрядной камеры приведена в работе [15]. Внутренний диаметр камеры равнялся ~ 50 мм. Использовались две конфигурации электродов. Конфигурация электродов 1 была образована плоским анодом и выпуклым катодом из нержавеющей стали с магнелиевым напылением. Диаметр катода равнялся 20 мм, радиус кривизны 12 мм. Конфигурация электродов 2 была образована плоским анодом и катодом с малым радиусом кривизны, что приводило к усилению электрического поля у катода. Катод с малым радиусом кривизны был выполнен в виде трубки диаметром ~ 5 мм из титановой фольги толщиной 50 мкм. Для измерения тока разряда плоский анод был соединен с корпусом камеры через шунт, состоящий из 60 пленочных чип-резисторов с величиной сопротивления 3,3 Ом каждый. При регистрации пучка убегающих электронов анод был выполнен из двух металлических сеток с прозрачностью 64%, между которыми помещалась металлизированная (слой алюминия толщиной 0,2 мкм) пленка из кимфоли ($C_{16}H_{14}O_3$) толщиной 2 мкм или фольга из алюминия толщиной 3 мкм. Расстояние между катодом и анодом обычно составляло 6 мм (конфигурация электродов 1) или 12 мм (конфигурация электродов 2). За анодом из сеток с фольгой на расстоянии 9 мм устанавливался коллектор с временным разрешением не хуже 0,1 нс.

Ряд экспериментов проводился с подсветкой разрядного промежутка излучением барьерного разряда. При подаче импульса высокого напряжения на катод барьерный разряд зажигался между катодом и поверх-

ностью двух кварцевых трубок с внешним диаметром 5 мм, внутри которых помещалась медная фольга. Кварцевые трубки размещались параллельно с двух сторон катода, а медная фольга соединялась с корпусом газового диода.

Эксперименты были проведены при заполнении камеры гелием либо азотом при давлении 1–760 Торр. Генератор формировал на катоде импульсы напряжения амплитудой 25 кВ, длительностью ~ 90 нс и временем нарастания ~ 5 нс. Отраженные от разрядного промежутка импульсы поглощались в генераторе. Для регистрации сигналов с емкостного делителя и коллектора применялся осциллограф TDS-6604 с полосой пропускания 6 ГГц и осциллограф TDS-3054B с полосой пропускания 500 МГц.

В ходе экспериментов регистрировались напряжение на электродах и ток разряда, а также напряжение на электродах и ток электронного пучка в гелии и азоте при разном давлении газов.

При подаче на межэлектродный промежуток импульса напряжения амплитудой 25 кВ и длительностью 90 нс промежуток пробивался и, в зависимости от давления газа, формировался объемный либо контрагированный разряд. Характерные осциллограммы тока и напряжения разряда представлены на рис. 1. Время запаздывания пробоя в отсутствие внешней предьонизации изменялось случайным образом и могло составлять десять и более наносекунд (при повышенных давлениях). Предьонизация промежутка стабилизировала запаздывание пробоя. Так, при давлении гелия 1 атм это запаздывание составило ~ 4–5 нс.

При регистрации пучка убегающих электронов в гелии было замечено, что с уменьшением давления меняется режим генерации убегающих электронов. Для конфигурации электродов 1 при высоких давлениях гелия (~ 600 Торр) реализуется режим генерации СЛЭП (сверхкороткого лавинного электронного пучка [3, 4]) длительностью на полувысоте ~ 200 пс (~ 400 пс по основанию). Отметим, что длительность СЛЭП на полувысоте в данных условиях (напряжение на промежутке ~ 25 кВ) оказалась в два раза больше, чем при подаче на этот же газовый диод импульса напряжения в сотни киловольт [4]. В области давлений гелия $p \leq 300$ Торр реализуется один из следующих вариантов: одиночный режим генерации убегающих электронов (длительность импульса ~ 1,5–3 нс), двухпиковый режим (длительность первого пика ~ 1–1,5 нс, второго пика ~ 1,5–3 нс, причем второй пик по амплитуде больше первого), СЛЭП, либо смешанный режим, когда вначале генерируется СЛЭП, а затем – электронный пучок большей длительности. На рис. 2 приведена характерная осциллограмма пучка убегающих электронов, соответствующая смешанному режиму генерации. При давлении гелия 60 Торр разряд загорался уже не в межэлектродном промежутке, а между основанием катодного штока, на котором крепился катодный электрод, и стенками камеры. Амплитуда тока электронного пучка при изменении

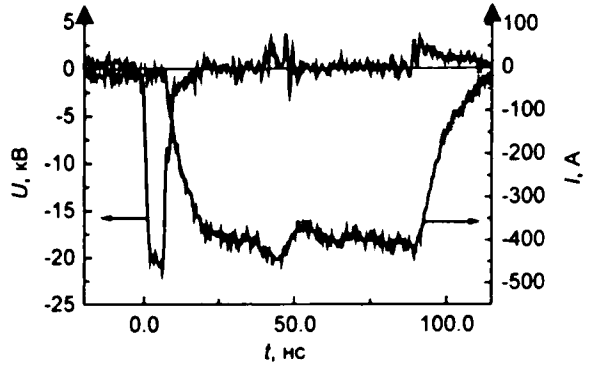


Рис. 1. Ток разряда в гелии и напряжение на электродах для конфигурации электродов 1 в отсутствие подсветки. Давление гелия 300 Торр

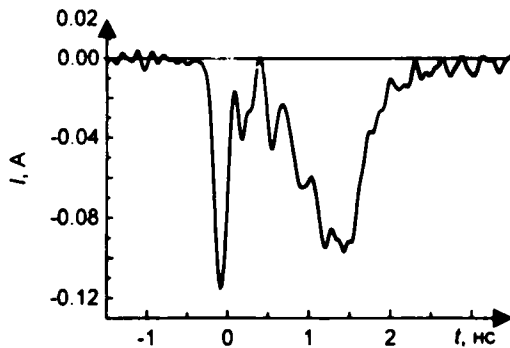


Рис. 2. Ток пучка убегающих электронов. Разряд в гелии при давлении 180 Торр. Конфигурация электродов 1

давления гелия колебалась в широких пределах, достигая при давлении 180 Торр максимального значения ~ 0,1–0,2 А. Для конфигурации электродов 2 также наблюдались смешанный и другие варианты режимов генерации при давлении $p \leq 150$ Торр (величина межэлектродного зазора $d = 12$ мм). Запаздывание момента начала генерации электронного пучка относительно начала спада напряжения на промежутке составляло менее 1 нс.

Для азота при регистрации пучка убегающих электронов наблюдалась подобная картина: в области давлений 60–120 Торр регистрировался СЛЭП, при давлении $p \leq 30$ Торр наблюдались различные режимы генерации электронного пучка; при давлении $p \leq 6$ Торр разряд загорался уже не в межэлектродном промежутке, а между основанием катодного штока, на котором крепился катодный электрод, и стенками камеры. Амплитуда тока электронного пучка при изменении давления азота также колебалась в широких пределах. Максимальные значения

тока пучка ~ 0,2–0,3 А регистрировались при давлении азота 30–60 Торр. Для конфигурации электродов 2 (величина межэлектродного зазора $d = 12$ мм) в области давлений $p \sim 10$ –200 Торр наблюдался СЛЭП, а при давлении $p \leq 6$ Торр – различные режимы генерации электронного пучка. Запаздывание момента нача-

ла генерации электронного пучка относительно начала спада напряжения на промежутке, как и для разряда в гелии, составляло менее 1 нс.

Эксперименты с подсветкой межэлектродного промежутка (конфигурация электродов 1) излучением барьерного разряда показали, что она влияет на генерацию пучка убегающих электронов. Так, при давлении гелия 600 Торр и подсветке межэлектродного промежутка электронный пучок за анодом отсутствовал. В условиях подсветки промежутка электронный пучок за анодом отсутствовал также в азоте при давлении 120 Торр. Такое влияние подсветки на генерацию СЛЭП можно объяснить отсутствием необходимой для этого волны ионизации [8]. При использовании подсветки концентрация электронов в промежутке увеличивается более равномерно и критическое поле, необходимое для режима убегания, у анода при повышенных давлениях гелия и азота не достигается.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Тарасова Л.В., Худякова Л.Н., Лойко Т.В., Цукерман В.А. // ЖТФ. – 1974. – Т. 44. – Вып. 3. – С. 564–568.
2. Бабич Л.П., Лойко Т.В., Тарасова Л.В. // ЖТФ. – 1978. – Т. 48. – Вып. 8. – С. 1617–1620.
3. Тарасенко В.Ф., Орловский В.М., Шунайлов С.А. // Изв. вузов. Физика. – 2003. – № 3. – С. 94–95.
4. Tarasenko V.F., Shprak, V.G., Shunailov S.A., and Kostyrya I.D. // Laser and Particle Beams. – 2005. – V. 23. – No. 4. – P. 545–551.
5. Месяц Г.А., Коровин С.Д., Шарылов К.А. и др. // Письма в ЖТФ. – 2006. – Т. 32. – Вып. 1. – С. 35–44.
6. Бакшт Е.Х., Рыбка Д.В., Ломаев М.И., Тарасенко В.Ф. // Письма в ЖТФ. – 2006. – Т. 32. – Вып. 21. – С. 69–75.
7. Бабич Л.П., Лойко Т.В., Цукерман В.А. // УФН. – 1990. – Т. 160. – Вып. 7. – С. 49–82.
8. Тарасенко В.Ф., Яковленко С.И. // УФН. – 2004. – Т. 174. – № 9. – С. 953–971.
9. Тарасенко В.Ф., Костыря И.Д. // Изв. вузов. Физика. – 2006. – № 12. – С. 40–50.
10. Frankel S., Highland V., Sloan T., et al. // Nucl. Instrum. and Meth. – 1966. – V. 44. – P. 345–348.
11. Кремнев В.В., Курбатов Ю.А. // ЖТФ. – 1972. – Т. 42. – Вып. 4. – С. 795–799.
12. Бохан П.А., Колбычев Г.В. // ЖТФ. – 1981. – Т. 51. – Вып. 9. – С. 1823–1831.
13. Сорокин А.П. // Письма в ЖТФ. – 2003. – Т. 29. – Вып. 10. – С. 15–22.
14. Месяц Г.А. // Импульсная энергетика и электроника. – М.: Наука, 2004. – 704 с.
15. Бакшт Е.Х., Рыбка Д.В., Ломаев М.И., Тарасенко В.Ф. // Квантовая электроника. – 2006. – Т. 36. – № 6. – С. 576–580.

Институт сильноточной электроники СО РАН
E-mail: VFT@toi.hcei.tsc.ru

Поступило в редакцию 18.12.06.