

ОБЪЕДИНЕННЫЙ  
ИНСТИТУТ  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ  
ДУБНА

1965/83

18/4-83  
9-83-46

С.А.Коренев

К ВОПРОСУ ОБ УВЕЛИЧЕНИИ ТОКООТБОРА  
С ГРАФИТОВОГО КАТОДА

Направлено в журнал  
"Приборы и техника эксперимента"

1983

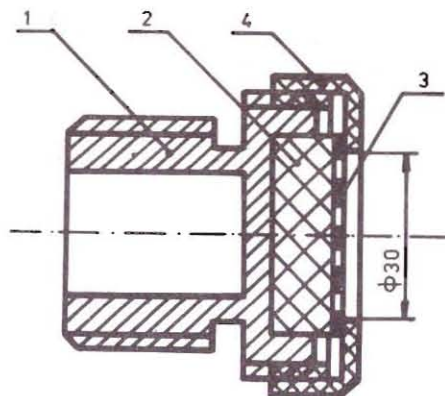
Для генерации наносекундных электронных пучков в плазменных диодах используются графитовые катоды<sup>/1/</sup>. При средней напряженности электрического поля в диоде  $E \geq 400$  кВ/см на катоде формируется однородная плазма посредством спонтанного размножения по поверхности графита катодных факелов с естественных микро-неоднородностей. С границы движущейся катодной плазмы производится равномерный токоотбор электронов внешним электрическим полем. Однако при  $E < 400$  кВ/см происходит срыв спонтанного размножения катодных факелов, что приводит к неоднородной структуре катодной плазмы. Последнее объясняется эффектом экранировки электрического поля в районе первичного катодного факела<sup>/2/</sup>. Неоднородная структура катодной плазмы уменьшает площадь плазменного эмиттера, что означает уменьшение величины электронного тока, т.к. она определяется произведением площади эмиттера на плотность электронного тока. При этом величина плотности тока определяется в основном параметрами плазмы /температурой и концентрацией электронов/<sup>/3/</sup> и ограничена сверху законом Чайльда-Ленгмюра<sup>/4/</sup>. В среднем параметры однородной и неоднородной плазмы одинаковы.

Данная работа посвящена продолжению исследования графитового катода на предмет повышения токоотбора электронов при средней напряженности электрического поля в диоде  $E < 400$  кВ/см за счет увеличения площади плазменного эмиттера путем формирования однородной катодной плазмы. Последнее достигается выравниванием электрического поля диода в начальный момент формирования плазмы при помощи металлической мелкоструктурной сетки, уложенной на графит. Указанный диапазон электрического поля широко распространен в диодах при средних напряжениях на диоде 100-300 кВ и зазоре между анодом и катодом 1 см.

Рассматриваемый в работе катод показан на рис.1. Он состоит из металлической подложки 1, графитовой вставки 2, металлической мелкоструктурной сетки 3 и диэлектрической крышки 4. Исследования проводились на экспериментальном стенде<sup>/5/</sup>, состоящем из вакуумного диода, генератора импульсного напряжения Аркадьева-Маркса промышленного типа ГИН-500 и системы диагностики. Ток измерялся цилиндром Фарадея<sup>/6/</sup>. Структура пучка определялась многосекционированным коллектором, сигналы с которого поступали на наносекундный регистратор БЛОР-04<sup>/5/</sup>. Давление остаточного газа в вакуумной камере диода составляло  $5 \cdot 10^{-5}$  Торр. Исследуемый катод устанавливался на катодную ножку диода. Металлическая сетка из нержавеющей стали устанавливалась на графит. Размер ячейки сетки составлял  $1,5 \times 1,5$  мм<sup>2</sup>, диаметр проволочек - 0,1 мм.



а/



б/

Рис.1. а - общий вид катода, б - конструкция катода: 1 - металлическая подложка, 2 - графитовая вставка, 3 - металлическая мелкоструктурная сетка, 4 - диэлектрическая крышка.

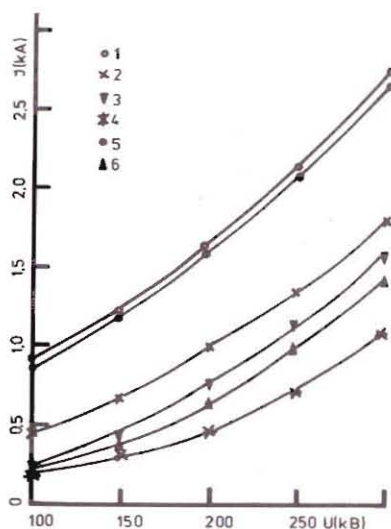


Рис.2. Вольтамперные характеристики диода при зазоре между анодом и катодом 1 см /кривые 1, 2, 3, 4/ и 0,5 см /кривые 5, 6/: 1 - катод из графита с металлической сеткой, 2 - катод из графита, 3 - катод из отожженного графита, 4 - катод из отожженного графита с металлической сеткой, 5 - катод из графита, 6 - катод из отожженного графита.

В результате экспериментального исследования построены вольт-амперные характеристики /ВАХ/ диода, представленные на рис.2. Интегральные фотографии межэлектродного промежутка диода с катодной плазмой приведены на рис.3. Из них видно, что в рассматриваемой области  $E$  катод из графита с металлической сеткой позволяет увеличить токоотбор электронов по сравнению с катодом из графита /рис.2 кривые 1, 2; рис.3а, б/. Фотография плазменной

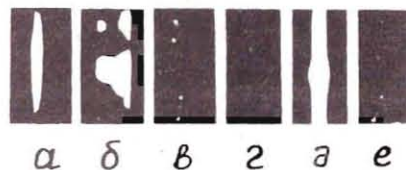


Рис.3. Фотография катодной плазмы в промежутке между катодом и анодом: а - катод из графита с металлической сеткой,  $E = 250$  кВ/см, б - катод из графита,  $E = 250$  кВ/см, в - катод из отожженного графита,  $E = 250$  кВ/см, г - катод из отожженного графита с металлической сеткой,  $E = 250$  кВ/см, д - катод из графита,  $E = 500$  кВ/см, е - катод из отожженного графита,  $E = 500$  кВ/см.

области /рис.3а/ указывает на отсутствие факельной структуры плазмы. Катодная плазма катода из графита /рис.3б/ носит факельный характер, чем и объясняется уменьшение площади плазменного эмиттера, приводящее к уменьшению величины электронного тока. Измерения микроструктуры электронного пучка, формируемого с графитового катода с сеткой, показывает его однородность на масштабном уровне 1 мм в пределах 15%. В то же время катод из графита генерирует неоднородный электронный пучок по поперечному сечению, его неоднородность составляет 40% на том же масштабном уровне. Из сравнительного анализа этих данных видно, что катод предложенной конструкции позволяет улучшить токоотбор электронов в  $1,5 \pm 2$  раза по сравнению с катодом из графита при средней напряженности электрического поля в диоде  $E < 400$  кВ/см.

Процесс формирования катодной плазмы на катоде из графита с металлической сеткой качественно объясняется физическими явлениями, которые можно представить в двух временных стадиях. На первой стадии при подаче импульса напряжения на диод с провололочек металлической сетки эмиттируются автоэлектроны, ионизирующие газовые молекулы, выделяющиеся из графита. На второй стадии происходит разогрев поверхности графита, прилегающей к сетке, созданной плазмой, и увеличение концентрации плазмы за счет ионизации испаряющегося углерода и газовых молекул, выделение которых усиливается. Как показывают измерения, в состав выделяющихся газов входят:  $H_2$ ,  $CO$ ,  $CO_2$ ,  $C_mH_m$  и др. Рентгеноструктурный анализ подтверждает факт распыления графита /углерода/. Сформированная плазма достаточно однородна. Ее однородность объясняется следующими факторами:

- выравниванием напряженности электрического поля между анодом и катодом в начальный момент формирования катодной плазмы;
- однородным разогревом слоя графита, прилегающего к металлической сетке;
- равномерностью газовыделений;
- равномерностью ионизации газовых молекул и углерода автоэлектронами.

Необходимо заметить, что многообразие элементарных явлений /возбуждение, ионизация, десорбция, вторичная электронная и ион-

ная эмиссия, испускание фотонов и т.п./ и обилие участвующих в них частиц /различные нейтральные атомы, например O, C, молекулы CO, CO<sub>2</sub>, C<sub>m</sub>H<sub>m</sub>, однозарядные и многозарядные ионы атомов, электроны, фотоны/ чрезвычайно затрудняют попытки построения самосогласованной модели формирования однородной катодной плазмы.

Следует указать на то, что в предложенном механизме формирования однородной плазмы определяющую роль играют газовыделения из графита. Экспериментальная проверка этого положения состояла в исследовании качественной зависимости влияния газовой выделений на характер плазмы. С этой целью в экспериментах газовой выделение регулировалось температурой отжига графитовой вставки перед ее установкой в катодный узел. Фотографирование катодной плазмы /графитовая вставка без сетки/ показало наличие ярко выраженной ее факельной структуры. Измерения распределения плотности тока указывают на неоднородность плотности тока по поперечному сечению. Для графитовой вставки, отожженной при температуре 900 °C, на рис.3в приведена интегральная фотография плазмы в диоде. ВАХ диода с катодом из отожженного графита представлена кривой 3 на рис.2. Видно, что токоотбор для отожженного графита ниже, чем для обычного графита. Неоднородность плотности тока на масштабном уровне 1 мм составляет 50%. Установка металлической сетки на отожженный графит существенно картины не изменяет /рис.2 кривая 4, рис.3г/. Проведенные эксперименты при средней напряженности электрического поля в диоде  $E > 400$  кВ/см /зазор между анодом и катодом уменьшен до 0,5 см/ показали, что однородная плазма на графите формируется только на неотожженном графите /рис.3д и 3е/. Сопоставление представленных экспериментальных данных указывает на единый механизм влияния газовой выделений на формирование катодной плазмы.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Смирнов В.П. ПТЭ, 1977, № 2, с.7.
2. Месяц Г.А. и др. Тезисы IV Всесоюзного симпозиума по ненакапливаемым катодам. Изд-во ИСЭ, Томск, 1980, с.53.
3. Крейнделль Ю.Е. Плазменные источники электронов. Атомиздат, М., 1977.
4. Вавилов С.П. Импульсная рентгеновская техника. "Энергия", М., 1981.
5. Корнев С.А. ОИЯИ, 9-81-703, Дубна, 1981.
6. Корнев С.А. ОИЯИ, 9-81-573, Дубна, 1981.

Рукопись поступила в издательский отдел  
31 января 1983 года.

Корнев С.А. 9-83-46  
К вопросу об увеличении токоотбора с графитового катода

Для увеличения токоотбора катода путем формирования однородной катодной плазмы при средней напряженности электрического поля в диоде  $E < 400$  кВ/см предложено на графит установить металлическую мелкоструктурную сетку. Наличие сетки позволяет в начальный момент формирования катодной плазмы выровнять электрическое поле, что позволяет формировать однородную плазму. Экспериментально показано, что на характер катодной плазмы влияют газовой выделение из графита. При напряжении на диоде 100-300 кВ и зазоре между анодом и катодом 1 см величина электронного тока лежит в килоамперном диапазоне.

Работа выполнена в Отделе новых методов ускорения ОИЯИ.

Препринт Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1983

Korenev S.A. 9-83-46  
On Increasing Electron Recoil Out of Graphite Cathode

For increasing electron recoil out of graphite cathode by forming homogeneous cathode plasma at the average intensity of electric field in diode  $E < 400$  kV/cm, it's proposed to fix a metallic small-structured net at graphite. The presence of metallic net permits to even the electric field at the initial moment of cathode plasma formation that is necessary for homogeneous plasma production. It has been experimentally demonstrated that gas evolvments of graphite have a great influence on behaviour of cathode plasma. At the voltage of diode - 100-300 kV and gap between anode and cathode 1 cm, the value of electron current is in kiloampere range.

The investigation has been performed at the Department of New Acceleration Methods, JINR.

Preprint of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1983

Перевод О.С.Виноградовой.