

НАЦИОНАЛЬНЫЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР  
"ХАРЬКОВСКИЙ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ"

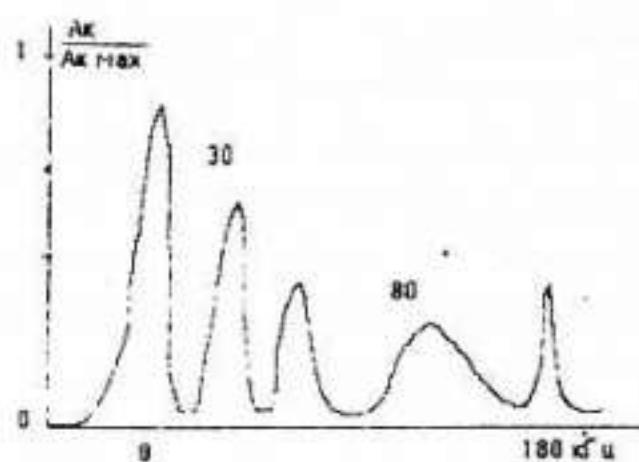
Секция Северо-восточного научного центра НАНУ  
и Министерства науки и технологии  
"Харьковская вакуумная ассоциация"

# **ВОПРОСЫ АТОМНОЙ НАУКИ И ТЕХНИКИ**

**ВАКУУМ, ЧИСТЫЕ МАТЕРИАЛЫ,  
СВЕРХПРОВОДНИКИ**

**ВЫПУСК  
6(7), 7(8)**

**ХАРЬКОВ  
1998**



Спектры колебаний ионного тока на зонд для четырех точек объема камеры ионизации плазменного ускорителя.

В данной работе, ввиду ограниченности объема, приводится лишь часть экспериментальных данных по определению колебаний в объеме камеры ионизации плазменно-ионного ускорителя диаметром 200 мм, работающего на цезии. Реально, таких спектрограмм, соответствующих различным режимам работы ускорителя и различным сечениям камеры ионизации, получено более тридцати.

Анализ спектров позволил определить область, где локализируются колебания с частотой 54 и 100 кГц. После проведения корреляционных изме-

рений было сделано заключение: эти колебания соответствуют токовоконвективной неустойчивости плазмы, изменяющей аномальную проводимость в направлении поперек магнитного поля. При помощи изменения конфигурации магнитного поля (нарастания поля к выходу из камеры ионизации) удалось "подавить" эту неустойчивость на основных режимах работы ускорителя и улучшить энергетические параметры ускорителя. В частности, энергозатраты на образование иона снизились от 170 эВ/ион до 120 эВ/ион.

Т.о., была показана возможность применения результатов исследования колебаний плазмы в объеме камеры ионизации с целью улучшения энергетических характеристик ускорителя.

#### Литература

1. Цытович В.Н. Нелинейные эффекты в плазме. М.: Наука, 1968. 288с.
2. Масляный Н.В., Стаценко В.В. Корреляционные измерения колебаний в газоразрядной плазме. // Проблемы высокотемпературной техники. Днепропетровск, 1984. с.138.

### ДИАГНОСТИКА ВЫСОКОИНТЕНСИВНЫХ ЭЛЕКТРОННЫХ ПУЧКОВ ПО ПЕРЕХОДНОМУ ИЗЛУЧЕНИЮ ЭЛЕКТРОНОВ С ПОВЕРХНОСТИ МЕТАЛЛОВ

**Е.В. БЕЛОУСОВ, Г.С. ВОРОБЬЕВ, В.Г. КОРЖ, Д.А. НАГОРНЫЙ, К.А. ПУШКАРЕВ**  
**СУМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ,**  
**244007, УКРАИНА, Г. СУМЫ, УЛ. РИМСКОГО-КОРСАКОВА, 2**  
**ИНСТИТУТ РАДИОФИЗИКИ И ЭЛЕКТРОНИКИ НАНУ,**  
**310085, УКРАИНА, Г. ХАРЬКОВ, УЛ. АК. ПРОСКУРЫ 12**

По экспериментальным методам наиболее полным до настоящего времени является обзор [2]. За время, прошедшее после опубликования этого обзора, появилось значительное количество работ, которые привели не только к существенному техническому усовершенствованию, но и к принципиально новым решениям задач исследования ЭП [3-8].

Из новых методов диагностики тонких ЭП высокой удельной мощности следует отметить метод, основанный на использовании явления переходного излучения оптического диапазона, возникающего при падении электронов на металлическую поверхность, и реализованный в конкретных схемах измерений параметров ленточных [3, 4] и аксиально-симметричных [5-8] ЭП. Данный метод основан на следующих свойствах переходного излучения [8]:

1. Переходное излучение полностью поляризовано. Электрический вектор колебаний в случае оптически изотропной среды лежит в плоскости, определяемой нормалью к поверхности раздела двух сред и направлением луча излучения. Этим свойством переходного излучения пользуются для селекции его от других видов излучения.

2. Прямая пропорциональность интенсивности излучения на заданной длине волны величине энергии бомбардирующих электронов и слабая

зависимость интенсивности от материала мишени в диапазоне энергий 30-100 кэВ.

На базе существующих схем измерений параметров ленточных и аксиально-симметричных ЭП фотометодом [3-7] была разработана универсальная схема измерений, которая представлена на рис.1.

Электронный пучок 1 формируется пушкой 2, установленной с возможностью углового перемещения относительно плоскости подвижной мишени 3. Значение угла  $\alpha$  определяется из условия  $\alpha = \arcsin(L/R)$ , где  $L$  - длина рабочей поверхности мишени,  $R$  - характерный размер пучка по сечению.

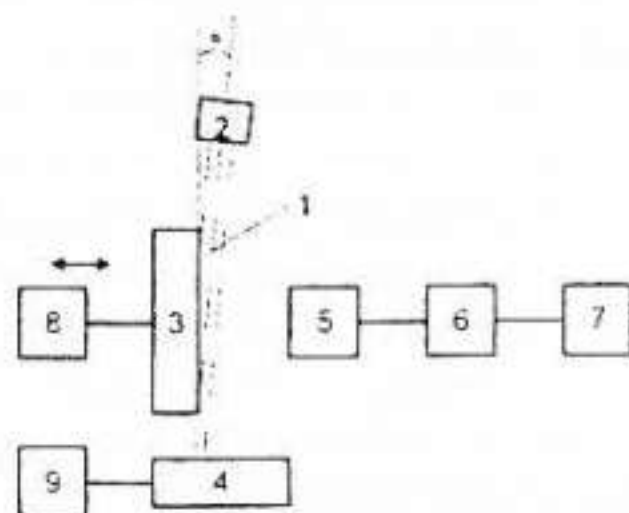


Рис.1. Схема измерений параметров ЭП

Для заданного режима работы пушки подвижная мишень устанавливается в исходное поло-

жение, определяемое равенством токов на ней и на неподвижной мишени 4, что свидетельствует о расположении нижней границы мишени 3 на оси пучка. Устанавливая подвижную мишень для заданных сечений ЭП, производят регистрацию оптического излучения, выводимого через смотровое окно 5 и оптическую систему 6 на приемник излучения 7. Параллельно производится регистрация токов на обеих мишенях измерителями 8 и 9.

В качестве приемника излучения использована фотокамера [3-7], телевизионная камера [12]. Изображение следа свечения пучка фиксируется на фотопленке и обрабатывается по специальной методике [4]. Затем с помощью измерительного комплекса, включающего в себя микроденситометр и сопряженную с ним управляющую вычислительную машину, производят расшифровку фотонизображений. Такой метод регистрации позволяет получать с высокой точностью сведения о структуре ЭП. Так, для получения полного распределения плотности тока по сечению пучка обрабатывается  $10^4$  точек изображения (100 строк по 100 измерений), при этом максимальная относительная ошибка достигает 0,2.

Для реализации описанной выше методики измерений была разработана установка [5, 7], включающая в себя анализатор электронного пучка (АЭП), вакуумную систему, блок питания пушки, фотокамеру и измерители токов на мишенях. Подробное описание АЭП приведено в [9]. На рис. 2 показана принципиальная схема откачного поста экспериментальной установки.

Макет АЭП через металлическое уплотнение подключен к измерительной камере (ИК), содержащей манометрические преобразователи РМ1 и РТ2. Предварительная откачка объемов ИК-АЭП и магниторазрядного насоса NM до вакуума порядка  $5 \cdot 10^{-1}$  Па осуществляется через систему клапанов VН1, VН2, и VН3 механическим насосом NL. При достижении требуемой степени вакуума клапаны VН1 и VН2 перекрываются и включается магниторазрядный насос NM, обеспечивающий безмасляную откачку в объеме ИК-АЭП до степени вакуума  $10^{-5}-10^{-6}$  Па.

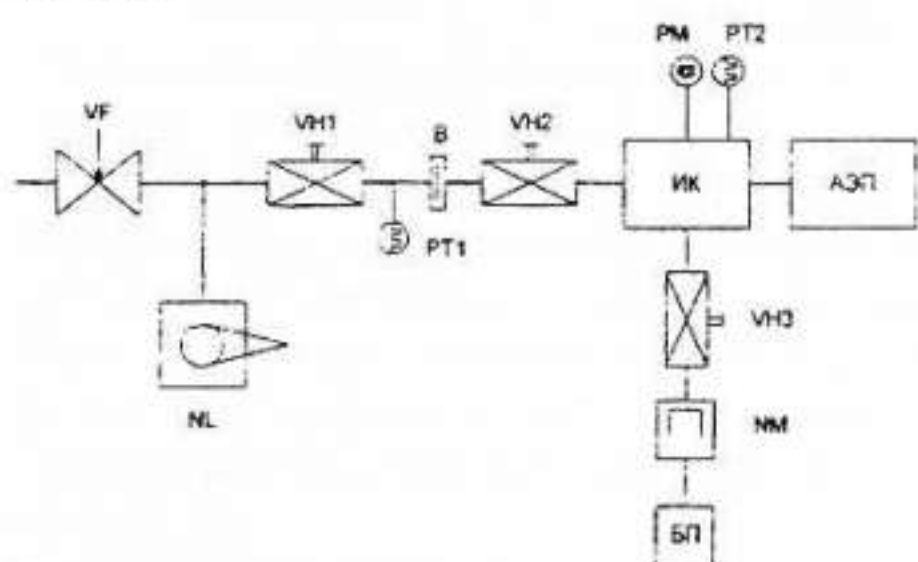


Рис.2. Принципиальная схема откачного поста экспериментальной установки

Приведем основные результаты экспериментальных исследований ленточных и аксиально-симметричных ЭП, используемых в вакуумной электронике КВЧ [3, 4, 8, 10]. Ленточные ЭП формировались электронно-оптической системой диодной пушки, помещенной в магнитное поле, а ак-

сиально-симметричные ЭП формировались трех-электродной пушкой без магнитного сопровождения пучка в области электродов пушки [10].

На рис.3 представлено распределение относительной плотности тока  $J/J_{max}$  по толщине ленточного пучка в минимуме (кривая 1) и максимуме (кривая 2) статической пульсации ЭП, формируемого диодной пушкой с плоской геометрией и катодом, не имеющим дефектов антиэмиссионного покрытия. При этом электронная пушка работала в следующих режимах: ток пучка  $I=32$  мА, анодное напряжение  $U=2100$  В, индукция магнитного поля  $B=0.31$  Тл. Здесь же приведено распределение плотности тока ЭП в минимуме пульсации при высокой неоднородности эмиссии (кривая 3).

Из приведенных графиков видно, что даже в случае использования катода, не имеющего дефектов, плотность тока существенно неоднородна, что особенно проявляется в максимуме статической пульсации. Подобное явление наблюдается как при работе катода в режиме ограничения тока пространственным зарядом, так и в режиме полного отбора тока. Следовательно, неоднородность распределения плотности тока по сечению пучка может быть обусловлена как неоднородностью эмиссии катода, так и расслоением пучка в пространстве дрейфа, усиливающимся с ростом плотности тока. Этот факт указывает на то, что в тонких пучках с высокой плотностью тока одним из основных факторов, определяющих структуру пучка, являются силы пространственного заряда.

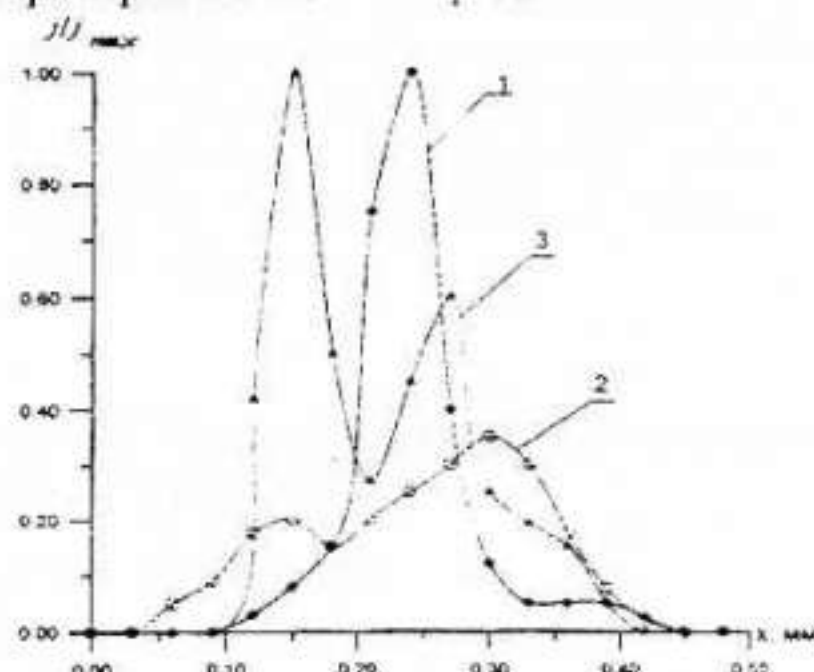


Рис.3. Распределение относительной плотности тока по толщине ленточного пучка аксиально-симметричного пучка в различных его сечениях

В значительно меньшей степени перечисленные выше факторы влияют на неоднородность плотности тока аксиально-симметричных ЭП, что связано со спецификой формирования таких пучков: аксиально-симметричная оптика, отсутствие магнитного поля в области формирования ЭП.

Проведенные исследования указывают на то, что предложенный метод и установка позволяют исследовать ЭП размерами порядка 0.1 мм при удельной мощности от единиц Вт/см<sup>2</sup> до  $10^2$  кВт/см<sup>2</sup>. При этом для фотометода нижний предел обусловлен временем экспонирования, не превышающим минуты, и может быть существенно снижен увеличением светосилы оптической системы и использованием высокочувствительных фотоматериалов. Верхний предел связан с нарушением

ем однородности излучения, вызванным появлением микрофакелов, и может быть расширен до  $10^3 \text{ кВт/см}^2$  за счет рассеяния мощности ЭП на большей площади мишени, что позволяет расширить область применения данного метода для диагностики электронных пучков в различных вакуумных электрофизических устройствах.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Франк И.М. Переходное излучение и оптические свойства вещества // Успехи физических наук.-1966.-2, №87.-С.184-203.
2. Методы экспериментального исследования структуры электронных пучков приборов О- и М-типов / Александров Г.И., Заморозков Б.М., Калинин Ю.А. и др. // Электрон. техника. Сер.1. Электроника СВЧ.- 1973.-Вып.8(108).
3. Балаклицкий И.М., Белоусов Е.В., Корж В.Г. и др. Фотометод исследования электронных пучков с высокой удельной мощностью // Известия вузов. Радиоэлектроника - 1982.-т.25, №5. -С.38-42.
4. Использование фотометода для исследования структуры электронных пучков в генераторах миллиметрового диапазона средней мощности / Аверин А.Н., Балаклицкий И.М., Белоусов Е.В., Корж В.Г.-Харьков, 1983.-21с.-(Препр./АН УССР. Институт радиофизики и электроники: №217).
5. Патент 2008737С1 России, НО1J9/42, GO1T1/29.- Оpubл. Бюлл. РФ "Изобретения" №4 от 28.02.94.
6. Белоусов Е.В., Воробьев Г.С. Корж В.Г. и др. Экспериментальное исследование статических параметров осесимметричных электронных пучков малого диаметра // Современные проблемы прикладной физики: Сборник научных трудов / Под ред. Проф. В.В. Кулиша. -К.: НМК ВО, 1992.-С.87-100.

### ФОТОННОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ ЭЛЕКТРОРАЗРЯДНОГО ВАКУУМНОГО ПРОМЕЖУТКА С ГИДРИРОВАННЫМ ЭЛЕКТРОДОМ И.А. БОРШКОВСКИЙ, С.И. ИВАНОВ ХАРЬКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Исследования вакуумного пробоя, осуществляемого дозированным искровым разрядом на дейтерированную титановую мишень [1], показали, что формирование структуры плазменного сгустка в разрядной цепи происходит в условиях аномальной газовой десорбции с электрода-мишени. Она носит пороговый характер по величине энергии вакуумного пробоя и создает существенно больший газовый выброс, чем в случае чистой титановой мишени.

Такое явление может иметь место либо при значительных диссипированных энергетических потерях ускоренных ионизирующих частиц [2] из плазменного слоя, либо при дополнительном энерговыделении в мишени, инициируемым электроплазменным воздействием. Последнее возможно при протекании ядерных процессов синтеза в приповерхностном слое мишени, аналогичных наблю-

7. Патент №4086 України, НОJ 9/12.- Оpubл. "Промислова Власність" №6.-1/94 від 27.12.94.

8. Белоусов Е.В., Воробьев Г.С., Корж В.Г. и др. Применение переходного излучения в диагностике высокоинтенсивных электронных пучков // Вісник СумДУ.- 1997.- №1(7).- С69-73.

9. Белоусов Е.В., Воробьев Г.С., Корж В.Г. и др. Анализатор электронного пучка. // Приборы и техника эксперимента. - 1996.- №6.- С.137-138.

10. Белоусов Е.В., Воробьев Г.С., Корж В.Г. и др. Сравнительный анализ статических характеристик ленточных и аксиально-симметричных электронных пучков // Вісник СумДУ.- 1997.- №1(7).- С73-76.

#### TRANSIENT RADIATION FROM THE METAL SURFACE AS DEAGNOSTIC OF POWERFULL ELECTRON BEAMS.

Ye.V. Belousov, G.S. Vorobjov, V.G. Korzh, D.A. Nagorny, K.A. Pushkaryov  
Sumy State University

2, Rymski-Korsakov St., Sumy, Ukraine. 244007  
Institute of radiophysics and electronics NASU  
12; Ac. Proskura St., Kharkov, Ukraine. 310085

#### ABSTRACT

Brief analysis of existent modern research methods of static parameters of electron beams has been performed. Substation of applicability of transient radiation for high flux beams diagnostic are given. Universal measurement procedure of both, strip and axially-symmetrical electron beams as result of analysis researches have been executed earlier is developed. It supposes various variants of radiation recording circuits realization. Experimental vacuum installation is described. Adduced results of measurements confirm method efficiency.

даемым в установках плазменного фокуса, где термоядерный КПД достигает  $10^{-3}$  [3]. В этом случае из поверхностного слоя мишени и околоэлектродной плазмы должны наблюдаться вспышки "жестких" гамма-квантов, например, из реакции  ${}^2\text{D}(d,\gamma){}^4\text{He}$  или радиационного захвата нейтронов. Их энергия должна превышать энергию Ro-излучения, верхняя граница которого определяется энергетическим спектром ускоренных в разрядном промежутке электронов и связана с межэлектродной разностью потенциалов.

Экспериментальная установка, на которой проводилось электроплазменное возбуждение поверхности металлических мишеней (Ti, TiH<sub>n</sub>, TiD<sub>n</sub>) и изучалось генерируемое фотонное излучение, представлена на рис.1.

В стальной вакуумной камере 1 закреплены три электрода: зарядный 2, маятниковый 3 с