

**Журавлев С.Д.<sup>1</sup>, Богачев Р.Ю.<sup>1</sup>, Роговин В.И.<sup>1</sup>,  
Петросян А.И.<sup>1</sup>, Шестеркин В.И.<sup>1</sup>,  
Гризбил Б.А.<sup>2,3</sup>, Рябухо В.П.<sup>2,3</sup>, Захаров А.А.<sup>4</sup>**  
<sup>1</sup>АО «НПП «Алмаз»

<sup>2</sup>Институт проблем точной механики и управления РАН

<sup>3</sup>Саратовский национальный исследовательский государственный университет  
им. Н.Г. Чернышевского

<sup>4</sup>Саратовский государственный технический университет им. Ю.А. Гагарина

## **Исследование тепловых смещений электродов КСУ с помощью лазерной интерферометрии и их влияния на модуляционные параметры импульсной ЛБВ**

*Представлены результаты экспериментального исследования изменения междуэлектродных расстояний в катодно-сеточном узле мощной импульсной ЛБВ методом лазерной интерферометрии. Приведены результаты численных расчетов влияния изменения междуэлектродных расстояний на модуляционные параметры и структуру электронного потока в электронной пушке.*

**Ключевые слова:** Катодно-сеточный узел, электронная пушка, температурные смещения, лазерная интерферометрия.

К импульсным ЛБВ предъявляются жесткие требования по обеспечению и сохранению в процессе эксплуатации выходных и модуляционных параметров, определяемых в большой степени катодно-сеточным узлом (КСУ) электронной пушки (ЭП) [1]. В свою очередь модуляционные параметры определяются конструкцией КСУ, а именно, взаимным расположением катода и управляющих током пучка сеток, размещенных вблизи поверхности высокотемпературного термоэмиссионного катода [2]. Междуэлектродные расстояния в КСУ, при заданной густоте перемычек сеточных структур, обеспечивают абсолютные значения управляющего током пучка и запирающего его напряжений, которые закладываются в чертежи для их изготовления. В рабочем режиме КСУ за счет высокой температуры катода (1050°С ÷ 1100°С) и термического расширения материала междуэлектродные расстояния (катод-теневая сетка и теневая сетка-управляющая сетка) уменьшаются относительно „холодных” размеров, заложенных в чертежах. Уменьшение расстояния катод-теневая сетка приводит к увеличению запирающего напряжения на управляющей сетке. При этом увеличивается „эффективная” эмиссионная площадь катода и, как следствие, возрастает ток и первеанс электронного пучка, что нарушает условия его фокусировки и сопровождения до коллектора [4].

В этой связи перед конструкторами приборов стоит задача определения абсолютных значений термических уходов для каждой конструкции КСУ и внесения корректировки „холодных” междуэлектродных размеров в чертежи на этапе проектирования прибора.

Таким образом, измерение температурных смещений электродов и определение “горячих” междуэлектродных расстояний в КСУ, исследование их влияния на модуляционные и электронно-оптические характеристики электронных пушек и электронно-оптических систем мощных импульсных СВЧ приборов является актуальной задачей.

Измерение тепловых смещений междуэлектродных расстояний основано на регистрации осевого местоположения измеряемого электрода и его изменения в процессе повышения температуры катода относительно реперной точки на опорной поверхности, расположенной вдали от измеряемой высокотемпературной области. Регистрация изменения местоположения электродов основана на использовании метода лазерной интерферометрии, в котором величина осевого определяется с точностью до долей длины волны лазерного излучения  $\lambda$ . В работе использован лазерный интерферометр [3], построенный по схеме интерферометра Майкельсона, с использованием цифровой фотокамеры для записи интерференционных картин (Рис.1).

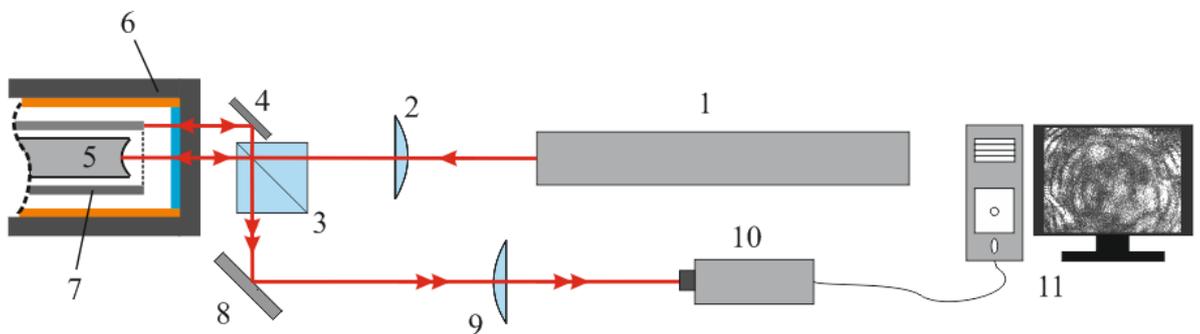


Рис. 1. Оптическая схема лазерного интерферометра: 1 - He-Ne лазер, 2 - линза, 3 - светоделительный кубик, 4 – поворотное зеркало, 5 - эмиттер, 6 - теплоизолирующая опора макета, 7 - управляющий электрод, 8 – поворотное зеркало, 9 - линза, 10 – цифровая фотокамера, 11 - персональный компьютер.

Один из разделенных светоделителем (3) лазерных пучков лучей фокусировался на поверхность одного электрода, а второй на поверхность другого электрода, например, управляющего электрода (7), как показано на рис.1. Отраженные от обеих поверхностей лазерные пучки лучей соединялись в светоделителе (3) в один суммарный пучок, который направлялся с помощью поворотного зеркала (8) и объектива (9) на матричный фотодетектор (10) цифровой фотокамеры. Интерференционная картина от обоих пучков лучей представляла собой систему максимумов и минимумов интенсивности излучения. Изменение взаимного положения поверхностей электродов в осевом направлении – относительное смещение поверхностей в осевом направлении - на величину  $\Delta g$  приводит к взаимному фазовому сдвигу лазерных пучков на величину  $\Delta\varphi = 2\pi 2\Delta g/\lambda$  и, соответственно, к периодическому осциллирующему изменению интенсивности интерференционной картины. Относительное смещение местоположений электродов на четверть длины волны вызывает изменение интенсивности суммарного пучка на половину периода. Подсчет количества таких полупериодов  $m$  изменений интенсивности в суммарном пучке позволяет определить величину относительного смещения поверхностей электродов  $\Delta g = m\lambda/4$ . Для подсчета числа полупериодов осцилляций интенсивности в суммарном пучке запись кадров изображения интерференционных картин осуществлялась с частотой более 2-х кадров за полупериод осцилляций. После цифровой обработки массива изображений интерференционных картин определялось количество полупериодов  $m$  и соответственно величина относительного смещения  $\Delta g_{12}$ . Таким образом определялось изменение междуэлектродных расстояний после введения в рабочий температурный режим катода.

Достоинством данного метода измерений является его бесконтактность и высокая точность измерения.

В качестве объекта исследований выбрана электронная пушка для мощной импульсной ЛБВ, включающая катодно-сеточный узел с импрегнированным металлопористым катодом, теневой и управляющей сетками (Рис.1). Сетки с радиально-кольцевыми перемычками были изготовлены из листового гафния толщиной 100 мкм и 300 мкм, соответственно (Рис.2).

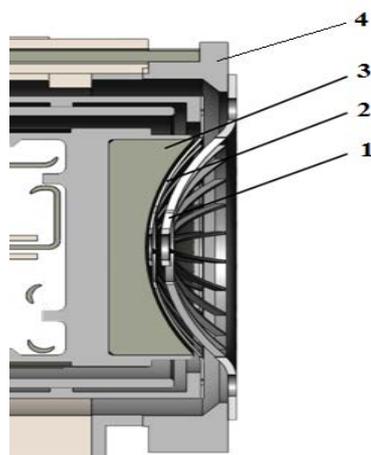


Рис. 2. Конструкция электронной пушки: 1 – управляющая сетка; 2 – теневая сетка; 3 – катод; 4 – управляющий электрод.

„Холодные” (заложенные в чертежи для их изготовления) размеры междуэлектродных расстояний: катод – теневая сетка и теневая – управляющая сетка составляли 100 мкм и 300 мкм, соответственно.

Измеренные величины температурного изменения расстояния катод – теневая сетка во времени при различных установившихся температурах катода  $T$  представлены в графической форме на Рис.3.

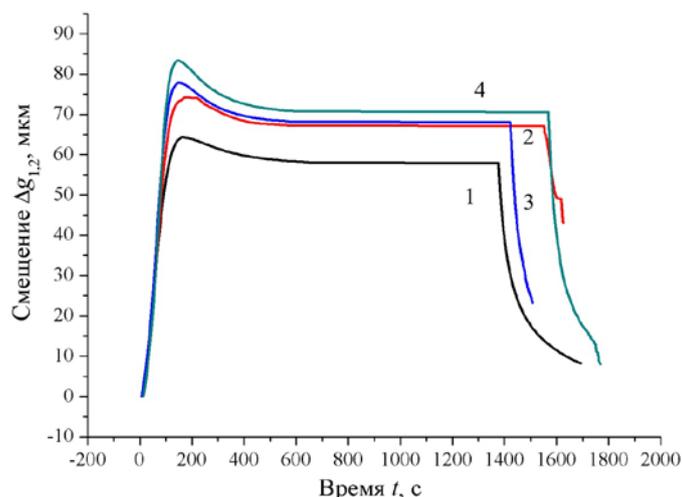


Рис. 3. Кривые величины относительного температурного смещения катода и теневой сетки в зависимости от времени при различных напряжениях накала и, соответственно, различных установившихся температурах катода  $T$ : 1 -  $T^{\circ}\text{C}=1050$ , 2 -  $T^{\circ}\text{C}=1070$ , 3 -  $T^{\circ}\text{C}=1090$ , 4 -  $T^{\circ}\text{C}=1100$ .

Таблица 1. Значения максимальной  $\Delta g_{max}$  и стабилизированной  $\Delta g_{stab}$  величин относительного смещения катод - теневая сетка и максимальной скорости смещения  $v_{max}$ .

	$T^{\circ}C=1050$	$T^{\circ}C=1070$	$T^{\circ}C=1090$	$T^{\circ}C=1100$
$\Delta g_{max}$ , МКМ	65,0	73,3	76,6	83,0
$\Delta g_{stab}$ , МКМ	58,4	67,5	66,6	70,3
$v_{max}$ , МКМ/с	0,7	0,7	1,0	1,2

Установлено, что основной вклад в изменение зазора внесен осевым перемещением катода относительно его „холодного” положения. Смещение теневой сетки в сторону катода не превышало 10 мкм. Таким образом, суммарное расстояние катод-теневая сетка в „горячем” состоянии уменьшилось на  $\sim 68$  мкм относительно холодного размера и составило  $\approx 32$  мкм.

Результаты измерений были использованы для анализа влияния расстояния катод-теневая сетка на модуляционные характеристики пушки и параметры электронного пучка в пролетном канале прибора. Расчеты проведены по программе анализа электронных пушек [5]. В процессе расчетов рабочее напряжение на управляющей сетке (напряжение превышения  $U_{прев}$ ) выбиралось таким, чтобы сохранялся рабочий ток катода для различных зазоров катод – теневая сетка. Напряжение запирающего  $U_{зан}$  выбиралось по уровню 0.01% от номинального значения эмиссионного тока катода.

Увеличение зазора катод-теневая сетка приводит к уменьшению эмиссионного тока катода за счет уменьшения его „эффективной” эмиссионной площади [6] и, как следствие, к снижению эмиссионного тока (I, А) (Рис.4).

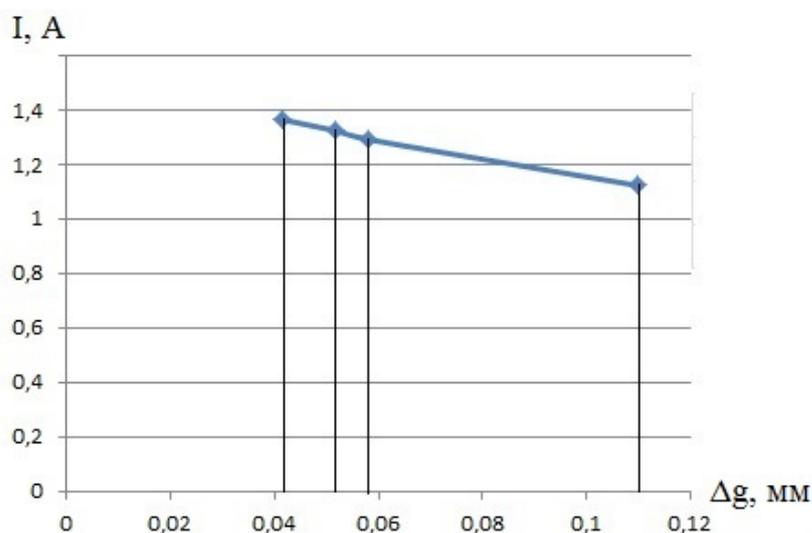


Рис. 4. Зависимость тока пушки от расстояния катод-теневая сетка

Уменьшение зазора катод – теневая сетка при достижении рабочей температуре катода приводит к уменьшению напряжения превышения управляющей сетки на 33% (Рис.5а) и возрастанию напряжения запирающего катода на 8% (Рис.5б).

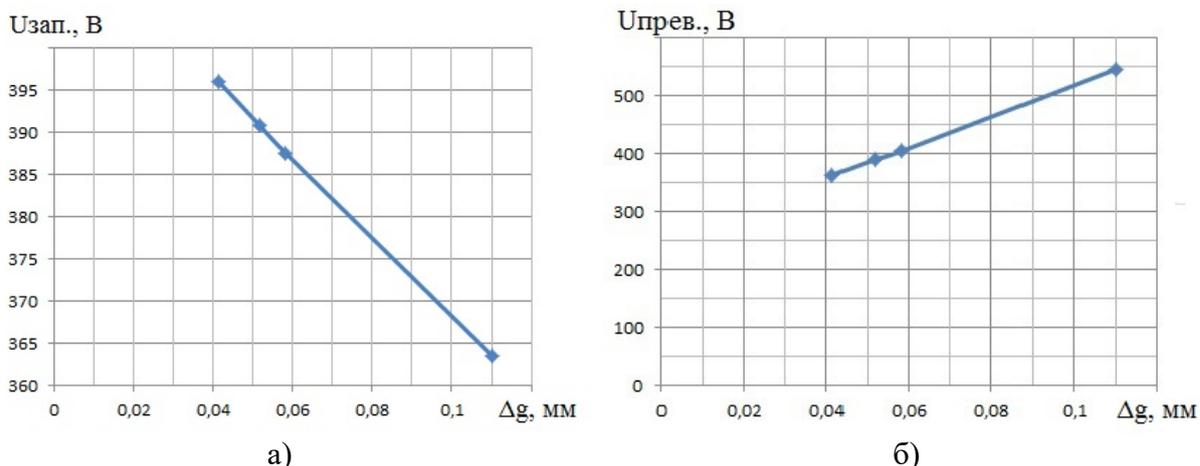


Рис. 5. а) Зависимость абсолютной величины «запирающего» катод напряжения на управляющей сетке от расстояния катод-тенева сетка, б) Зависимость напряжения превышения, обеспечивающего ток, от расстояния катод-тенева сетка.

Необходимость учета термических изменений междуэлектродных расстояний особенно актуально для мощных импульсных ЛБВ и импульсных ЛБВ и клистронов в коротковолновой части СВЧ диапазона.

#### Библиографический список:

1. А.С. Гилмор-мл. Лампы с бегущей волной. / Монография. Под редакцией Н.А. Бушуева. Техносфера. :М. 2013. 615с.
2. Gardiner T.M. Long life gridded guns // Int. Conf. on Microwave Tubes in Syst. London. 1984. P.47-49.
3. Горбатенко Б.Б., Клименко И.С., Рябухо В.П., Сурменко Л.А. Интерференционный способ измерений относительных перемещений диффузно отражающих поверхностей и устройство для его осуществления // А.с. СССР № 1374042. G 01 В 9/021. Оpubл. в Б.И. 15.02.88. Бюл. №.6.
4. Забирова Е.Г., Морев С.П., Якунин А.П. Комплексный анализ теплофизических, термомеханических и электронно-оптических процессов в электронных пушках ЭВП СВЧ // Электронная техника. Сер. Электроника СВЧ. 1986. Вып. 2(386). С.27-30.
5. Комплекс программ для проектирования на ЭВМ электронных пушек с сеточным управлением / А.И. Петросян, В.Д. Журавлева, В.В. Пензяков, В.И. Роговин // Прикладная физика.- 2002.- №3.- С. 127–133
6. Электронно-оптические системы с сеточным управлением / Ю.А. Григорьев, Б.С. Правдин, В.И. Шестеркин // Обзоры по электронной технике. Сер 1. Электроника СВЧ.- 1987.- Вып. 7(1264).