

**ИЗМЕНЕНИЕ ГЕОМЕТРИИ ПЯТНА УЗКОСФОКУСИРОВАННОГО ЭЛЕКТРОННОГО ПУЧКА
ПРИ ОТКЛОНЕНИИ НА ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ ПОВЕРХНОСТИ В ОБЛАСТИ
ДАВЛЕНИЙ 10–30 ПАСКАЛЕЙ**

И.Ю. Бакеев, А.А. Зенин

Научный руководитель: профессор, д.т.н. Е.М. Окс

Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники,

Россия, г. Томск, пр. Ленина, 40, 634050

E-mail: bakeeviyu@mail.ru

**CHANGES IN THE SPOT SHAPE OF A SMALL-RADIUS ELECTRON BEAM DURING DEVIATION
ON A HORIZONTAL SURFACE IN THE PRESSURE RANGE OF 10–30 PASCALES**

I.Yu. Bakeev, A.A. Zenin

Scientific Supervisor: Prof., Dr. E.M. Oks

Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics,

Russia, Tomsk, Lenin str., 40, 634050

E-mail: bakeeviyu@mail.ru

***Abstract.** The results of investigation about electron beam size changes during deviation of the beam on a horizontal surface in the pressure range of 10–30 Pa are presented. It is shown, that the size of the beam on longitudinal projection of the deviation increases monotonically, on the perpendicular - the beam size remains unchanged. Influence of helium pressure in the range of 10–30 Pa on the beam diameter is not depended.*

Введение. Для термической обработки металлов, в частности, резки, пайки, фрезерования широкое применение в настоящее время находят источники электронных пучков [1]. Подобные операции возможны и над диэлектриками, благодаря способности форвакуумных источников электронов [2] компенсировать накапливаемый на диэлектрических поверхностях отрицательный заряд. Причем достигнутые к настоящему моменту значения минимального диаметра пучка 0,6 мм и уровня плотности мощности 10^5 Вт/см² [3] являются достаточными для прецизионной обработки высокотемпературных марок керамики.

Изменение местоположения воздействия электронного пучка в ходе прецизионной обработки может осуществляться как перемещением обрабатываемой детали, так и отклонением самого электронного пучка, либо комбинацией данных способов. Очевидно, что способ отклонения электронного пучка является наиболее простым и точным, и в ряде технологических операций, не требующих воздействия пучка на большой глубине, он является более приемлемым.

Все же, к настоящему времени работы по изучению поведения размеров пятна электронного пучка при его отклонении на горизонтальной поверхности в форвакуумной области давлений отсутствуют. Таким образом, целью данной работы являлось изучение поведения изменения формы пятна узкофокусированного пучка, генерируемого форвакуумным плазменным источником электронов, при его отклонении на горизонтальной поверхности при давлениях 10–30 Па форвакуумного диапазона.

Схема и методика проведения эксперимента. Измерение диаметра пучка осуществлялось методом «отклонения» [4]: при помощи магнитной отклоняющей системы электронный пучок 1, генерируемый форвакуумным плазменным источником 2, принцип которого подробно изложен в [2], разворачивался в прямую линию 3, перпендикулярную двум протяженным измерительным щелям 4 (рис. 1,а). Таким образом, часть электронов при пересечении пучком обеих щелей попадала на коллектор 5, токовый сигнал которого представлен на рис. 1,б. Диаметр пучка d принималась величина равная отношению произведения расстояния между щелями L на ширину одного пика на полувысоте τ к расстоянию между пиками T .

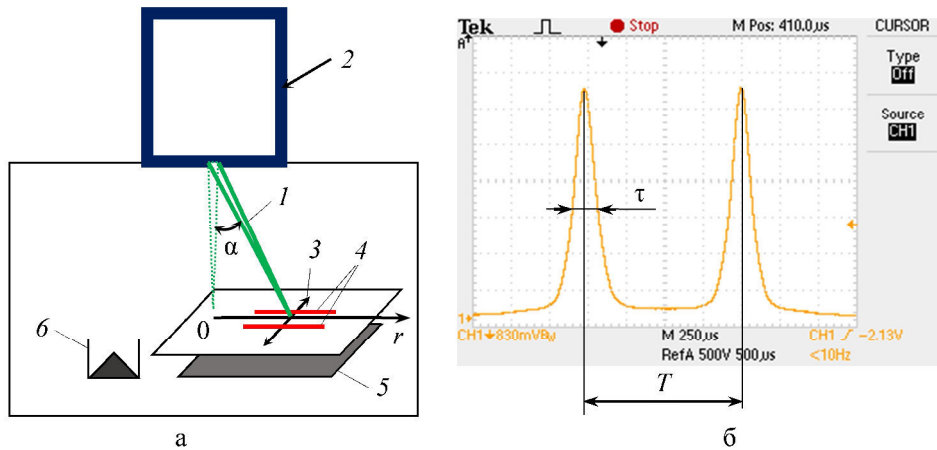


Рис. 1. Схема и методика проведения эксперимента (а) и характерный токовый сигнал коллектора для определения диаметра пучка (б): 1 – электронный пучок; 2 – форвакуумный электронный источник; 3 – направление развертки электронного луча; 4 – измерительные щели; 5 – коллектор для системы измерения диаметра пучка; 6 – токоприемный коллектор; τ – ширина пика на полувысоте; T – расстояние между центрами двух пиков

Для измерения продольного отклонению размера пучка на удалении от центрального положения перемещался как пучок, так и система измерения, в направлении r продольном измерительным щелям, как показано на рис. 1,а. При измерении поперечного отклонению размера пучка ориентация измерительных щелей 4 и направление развертки луча 3 изменялись на перпендикулярные исходным. Ток пучка оценивался при отведении пучка на отдельно стоящий токоприемный коллектор 6. Все измерения проводились при следующих параметрах: ускоряющее напряжение $U_a = 16$ кВ; ток пучка $I_b = 5$ мА.

Результаты эксперимента. Зависимости диаметра пучка для двух проекций от угла отклонения, отсчитываемого от центрального положения, при различных давлениях газа в камере представлены на рис. 2.

Как видно из данных результатов, при увеличении угла отклонения поперечный отклонению размер пучка не изменяется в пределах погрешности в то время, как продольный отклонению размер монотонно растет. В частности, при угле отклонения 22 градуса продольный отклонению размер пучка превышает поперечный практически в два раза. Так как пятно электронного пучка при отклонении приобретает эллипсоидную форму, при увеличении размера пучка по одной координате в два раза, площадь пятна пучка возрастает, а, следовательно, плотность мощности уменьшается, так же в два раза.

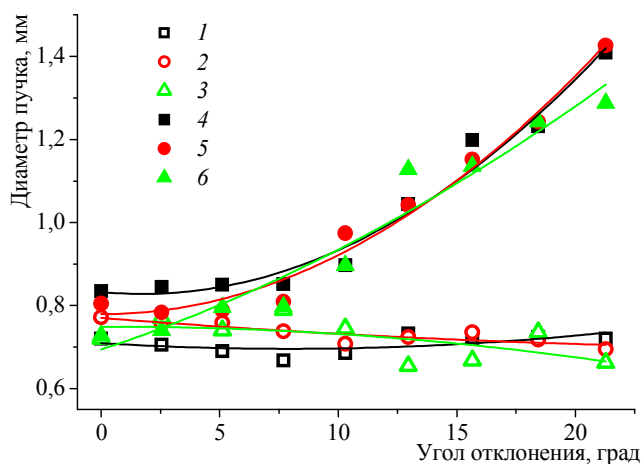


Рис. 2. Зависимости диаметра пучка от угла отклонения при различных давлениях газа: 1, 4 – $P = 30$ Па; 2, 5 – $P = 20$ Па; 3, 6 – $P = 10$ Па; 1, 2, 3 – поперечная отклонению проекция; 4, 5, 6 – продольная отклонению проекция

При этом стоит отметить, что допустимый угол отклонения, в пределах которого изменение величины диаметра пучка не превышает погрешности 10 %, составляет 7,5 градусов, что при исследуемом расстоянии между отклоняющей системой и плоскостью измерения 22,5 см соответствует линейному отклонению пучка в исследуемой плоскости на 3 см от центрального положения.

Несмотря на широкий диапазон давлений, влияние давления гелия на размеры пучка не существенно, что может быть обусловлено его малым сечением рассеяния.

Заключение. Показаны результаты исследования изменения размеров электронного пучка при отклонении на горизонтальной поверхности при давлениях 10–30 Па. Показано, что при отклонении пучка монотонно растет размер в продольной отклонению проекции, в перпендикулярной – размер пучка остается неизменным. Допустимое расхождение размеров пучка (не более 10 %) находится в пределах 7,5 градусов. Влияния давления гелия в диапазоне 10–30 Па на диаметр пучка не обнаружено.

Работа поддержана грантом РФФИ № 17-08-00239.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алехнович В.Н. Электронно-лучевая обработка материалов / В.Н. Алехнович, А.В. Алифанов, А.И. Гордиенко, И.Л. Поболь. – Минск: Белорусская наука, 2006. – 319 с.
2. Бурдовицин В.А. Форвакуумные плазменные источники электронов / В.А. Бурдовицин, А.С. Климов, А.В. Медовник, Е.М. Окс, Ю.Г. Юшков. – Томск: Изд-во Томского университета, 2014. – 288 с.
3. Зенин А.А. Особенности фокусировки электронного пучка плазменного источника в форвакуумном диапазоне давлений / А.А. Зенин, И.Ю. Бакеев, Ю.А. Бурачевский, А.С. Климов, Е.М. Окс // Письма в ЖТФ. – 2016. – Т. 42, Вып. 13. – С. 104–110.
4. Корнилов С.Ю. О параметрах электронного пучка пушки с плазменным эмиттером / С.Ю. Корнилов, Н.Г. Ремпе, А. Beniyash, N. Murray, T. Hassel, C. Ribton // Письма в ЖТФ. – 2013. – Т. 39, Вып. 19. – С. 1–8.