

Спектры отражения позитивной пленки, доэкранированной тонкой краской: 1 - 10 облучения, 2 - 7 час. облучения, 3 - 45 мин. лазером, 4 час. УФО

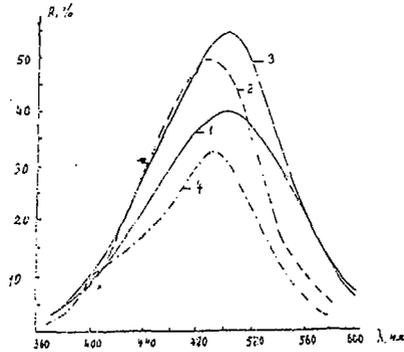


Рис.5

Спектры отражения ртутных пленок, доэкранированных ит. флюоресцентной краской: 1 - до облучения, 2 - 7 час. облучения, 3 - 1 час. УФО, 4 - 45 мин. лазером.

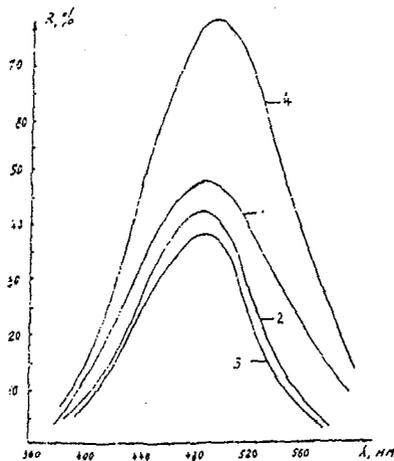


Рис.6



## ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКОЕ ОСЕСИММЕТРИЧНОЕ ЗЕРКАЛО С УСТРАНИМОЙ СФЕРИЧЕСКОЙ АБЕРРАЦИЕЙ

С.Б. БИМУРЗАЕВ, М.А. ХИЗИРОВА, Г.С. СЕРИКБАЕВА  
Казахский Государственный Университет имени аль-Фараби, г. Алматы,  
Республика Казахстан

Сферическая aberrация объективной линзы накладывает принципиальное ограничение на разрешение электронного микроскопа просвечивающего типа. Поэтому коррекция сферической aberrации объективной линзы или поиск новых электронно-оптических элементов, которые свободны от сферической aberrации и могут выполнять функции объективной линзы, является остроактуальной проблемой. Из множества возможных способов коррекции сферической aberrации наиболее перспективным является использование электростатических зеркал. Основанием для такого утверждения может служить тот факт, что знак коэффициента сферической aberrации электростатического зеркала противоположен знаку коэффициента сферической aberrации электростатической линзы, как было показано впервые в [1-2]. Это дает возможность создать систему "линза-зеркало", полностью свободную от сферической aberrации. Необходимо отметить, что в последнее время проблема устранения сферической aberrации электронных линз в электронных микроскопах приобретает большое значение [3-5].

Настоящая работа посвящена определению условий устранения сферической aberrации в электростатическом осесимметричном зеркале, состоящем из трех соосных цилиндров равного диаметра  $d$  (рис.1).

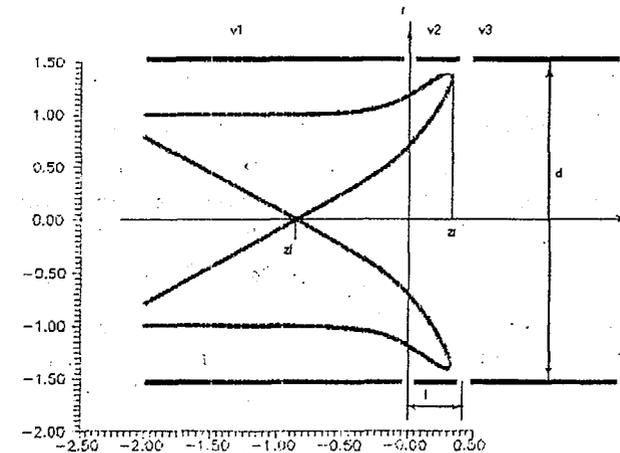


Рис.1

Такое зеркало можно рассматривать как линзово-зеркальную систему, роль линзы в которой играет зазор между первым и вторым электродами, а роль зеркала — зазор между вторым и третьим электродами.

Введем цилиндрическую систему координат  $r, \psi, z$ , ось  $z$  которой совмещена с оптической осью зеркала. Тогда уравнение потока моноэнергетичных частиц, испущенных объектом, находящимся на оптической оси, и отраженных зеркалом, определяется совокупностью траекторий [6]

$$r = -\frac{r'_0}{R p'_0 g'_0} (p_0 g + p g_0) + r'_0 M C_s, \quad (1)$$

Здесь  $|r'_0| \leq l g \frac{\theta}{2}$ , где  $\theta$  - апертурный угол,  $R$  - радиус кривизны зеркала,  $M$  - его линейное увеличение,  $p = p(z)$  и  $g = g(z)$  - линейно независимые частные решения уравнения

$$\Phi r'' + \frac{\Phi' r'}{2} + \frac{\Phi'' r}{4} = 0, \quad (2)$$

причем  $p$  - аналитическая функция,  $g = q\sqrt{\Phi}$ , где  $q = q(z)$  - также аналитическая функция, удовлетворяющая уравнению

$$\Phi q'' + \frac{3}{2} \Phi' q' + \frac{3}{4} \Phi'' q = 0, \quad (3)$$

а  $C_s$  - коэффициент сферической aberrации, который для предметной плоскости, совмещенной с фокальной плоскостью зеркала, принимает вид:

$$C_s = \frac{R}{16} [J_1 + 2(2J_2 + J_3) + J_4 + 3], \quad (4)$$

где

$$J_1 = \frac{g'}{8\Phi'_u p'^3} \int_{z_u}^z \frac{p}{\sqrt{\Phi}} \left[ p^2 (\Phi'' p + 4\Phi'' p') + 32 p'' \left( \Phi p^2 + \frac{1}{4} \Phi'' p^2 \right) \right] dz, \quad (5)$$

$$J_2 = \frac{1}{8\Phi'_u p' g'} \int_{z_u}^z \frac{g}{\sqrt{\Phi}} \left[ p g (\Phi'' p + 4\Phi'' p') + 32 p'' \left( \Phi p' g' + \frac{1}{4} \Phi'' p g \right) \right] dz, \quad (6)$$

$$J_3 = \frac{1}{8\Phi'_u p' g'} \int_{z_u}^z \frac{q}{\sqrt{\Phi}} \left[ \sqrt{\Phi} p^2 (\Phi'' g + 4\Phi'' g') - 4\Phi'' \Phi' p^2 q + 32 \Phi q'' \left( \Phi p^2 + \frac{1}{4} \Phi'' p^2 \right) \right] dz, \quad (7)$$

$$J_4 = \frac{p'_0}{8\Phi'_u g'^3} \int_{z_u}^z \sqrt{\Phi} q \left[ \frac{g^2}{\sqrt{\Phi}} (\Phi'' g + 4\Phi'' g') - \frac{6\Phi'' \Phi' g^3}{\Phi \sqrt{\Phi}} + 32 q'' \left( \Phi g'^2 + \frac{1}{4} \Phi'' g^2 \right) \right] dz. \quad (8)$$

Здесь  $\Phi = \Phi(z)$  - осевое распределение электростатического потенциала, штрихи обозначают дифференцирование по  $z$ , индексом "0" отмечены значения величин в плоскости объекта  $z = z_0$ , а индексом "u" - в точке поворота зеркала  $z = z_u$ , где  $\Phi_u = 0$ ,  $\Phi'_u \neq 0$ .

Привяжем функции  $p$  и  $q$  в точке  $z = z_u$  к началу координат, удовлетворяя начальным условиям:

$$\begin{aligned} p_u &= q_u = 1, \\ p'_u &= q'_u = -\frac{\Phi''_u}{2\Phi'_u}. \end{aligned} \quad (9)$$

Осевое распределение электростатического потенциала для рассматриваемого зеркала (рис.1) имеет вид [7]

$$\Phi(z) = \frac{1}{2} \left[ (V_1 + V_3) + \sum_{i=1}^2 (V_{i+1} - V_i) U_i \right], \quad (10)$$

где

$$U_i = \text{sign}(z - z_i) \left[ 1 - \frac{\exp\left[-\frac{2\alpha_k(z - z_i)}{d}\right]}{\prod_{m=1}^{\infty} \left(1 - \frac{\alpha_k^2}{\alpha_m^2}\right)_{s=m}} \right] \quad (11)$$

Здесь  $V_1, V_2$  и  $V_3$  - потенциалы на электродах,  $z_i$  - координата середины  $i$ -го зазора между электродами,  $\alpha_k, \alpha_m$  - корни функции Бесселя нулевого порядка.

Расчет рассматриваемого зеркала производился следующим образом. Для заданных значений длины второго электрода  $l$  находилось соотношение потенциалов на электродах системы, обеспечивающее условие устранения коэффициента сферической aberrации (рис.2). Из всего многообразия случаев устранения сферической aberrации нами выделен случай, когда предметная плоскость, совмещенная с фокальной плоскостью зеркала  $z = z_f$ , находится в свободном от поля пространстве перед зеркалом (рис.3).

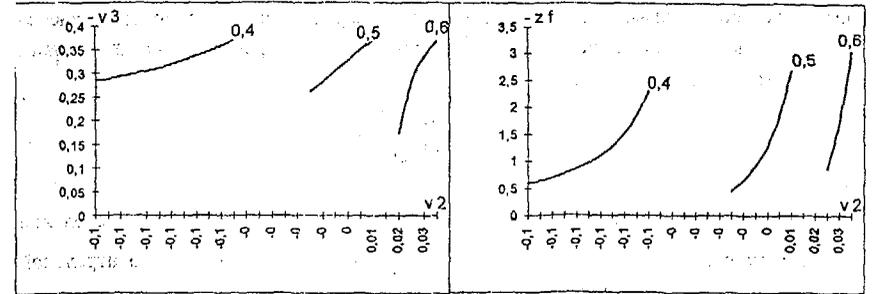


Рис. 2

Рис. 3

Цифры на кривых указывают длину второго электрода. Начало координат находится в середине зазора между первым и вторым электродами. Ход траекторий для случая  $l = 0.4$ ,  $v_2 = -0.07$ ,  $v_3 = -0.319$  приведен на рис.1. (Масштаб по оси  $r$  увеличен в  $n$  раз.)

Исследованное зеркало может быть использовано в качестве объектива электронного микроскопа просвечивающего типа.

Литература

1. Кельман В.М., Федулina Л.В. и Якушев Е.М. // ЖТФ, т.41, 1971г., с.1832.
2. Секунова Л.М. // ЖТФ, т.47, 1997г., с.2030.
3. Rempfer G.F. // Optik 92., 1992, p.3-8.
4. Rose H. // Workshop on computer-assisted design of particle optics instrumentation., Delft, 1994.
5. Preikszas D. Rose H. // J. Electron Microscopy. Vol. 46, № 1, 1997, p.1.
6. Yakushev E.M., Sekunova L.M. // Adv. Electronics. Electron physics. p.337.
7. Бобыкин Б.В., Невинный Ю.А., Якушев Е.М. // ЖТФ, т.45, 1975г., с.2368.