

РАСЧЕТ И РАЗРАБОТКА ОБЪЕКТИВНОЙ ЛИНЗЫ С КОЭФФИЦИЕНТОМ СФЕРИЧЕСКОЙ АБЕРРАЦИИ МЕНЕЕ 1 ММ К ПРОСВЕЧИВАЮЩЕМУ ЭЛЕКТРОННОМУ МИКРОСКОПУ ПЭМ-125К

доц. Зелев С.Ф., инж. Ковбасенко В.Ф.

Сферическая абберация является единственной геометрической абберацией, которая действует на изображение точек, лежащих на оптической оси линзы. В электронной оптике сферическая абберация не может быть скорректирована, поэтому при разработке электромагнитных линз уменьшение коэффициента сферической абберации $C_{сф}$ является одной из основных задач.

Для современных серийных приборов с ускоряющим напряжением до 125 кВ величина $C_{сф}$ колеблется приблизительно от 0,7 до 2,5 мм и определяет предел электронно-оптического разрешения микроскопа по точкам [1]:

$$d_{\min} = 0,65 \cdot \sqrt[4]{C_{сф} \cdot \lambda^3} \quad (1)$$

где λ - длина волны электронов при соответствующем ускоряющем напряжении.

Для разработанной объективной линзы нами был принят асимметричный полюсный наконечник с такими параметрами внутренних отверстий $b_1=8$ мм, $b_2=4$ мм и расстоянием между «башмаками» $S=3,5$ мм.

Если предположить, что магнитное поле в разработанной объективной линзе подчиняется закону простого колоколообразного поля, что характерно для сильных магнитных линз, то постоянная сферической абберации $C_{сф}$

может быть определена, исходя из следующей зависимости [2]:

$$\frac{C_{\text{фо}}}{d} = \left(\frac{\pi \cdot k^2}{4 \cdot (k^2 + 1)^{3/2}} - \frac{1}{8} \cdot \frac{4 \cdot k^2 - 3}{4 \cdot k^2 + 3} \cdot \sin \frac{2 \cdot \pi}{\sqrt{k^2 + 1}} \right) \cdot \frac{1}{\sin^4 \frac{\pi}{\sqrt{k^2 + 1}}} \quad (2)$$

где k^2 – оптическая сила линзы; d – полуширина полуширина распределения кривой индукции магнитного поля.

Для разработанной линзы $d=2,85$ мм, а $k^2=2,93$. Исходя из формулы (2) $C_{\text{сф}}/d=0,3$ и, следовательно, $C_{\text{сф}}=0,77$ мм. Таким образом $C_{\text{сф}}$ разработанной объективной линзы составляет величину менее 1 мм.

Нами была также проведена практическая оценка величины $C_{\text{сф}}$ разработанной объективной линзы непосредственно на электронном микроскопе ПЭМ-125К. При этом была использована известная методика измерения $C_{\text{сф}}$ по величине смещения темнопольного изображения относительно светлопольного, полученных в гауссовом фокусе при известном угле наклона электронного пучка в темнопольном режиме.

Измеренная оптическим путем величина $C_{\text{сф}}$ практически совпадает с расчетным значением.

1. Спенс. Дж. Экспериментальная электронная микроскопия высокого разрешения/ Пер. с англ./ Под ред. В.Н.Рожанского. – Москва.: Наука, 1986.
2. Глазер В. Основы электронной оптики/ Пер. с англ./ Под ред. В.А.Фабриканта. – Москва: ГИТТЛ, 1957.