

МИКРОСКОПИЯ НА ОСНОВЕ ПРЕЛОМЛЯЮЩИХ РЕНТГЕНОВСКИХ ЛИНЗ

Кольчевский Н.Н.¹, Петров П.В.¹, Хилько Г.И.², Дудчик Ю.И.²

¹Белорусский государственный университет

²Научно-исследовательское учреждение «Институт прикладных физических проблем им. А.Н. Севченко» Белорусского государственного университета

Минск, Республика Беларусь

Микроскоп – прибор для получения сильно увеличенных изображений объектов (или деталей их структуры). Структуру любого объекта (препарата) можно различить, если разные его частицы по-разному поглощают и отражают свет либо отличаются одна от другой (либо от среды) показателями преломления. Эти различия обуславливают разницу амплитуд или фаз световых волн, прошедших через разные участки препарата от чего, в свою очередь, зависит контрастность изображения. В зависимости от свойств изучаемого объекта и задач исследования существуют различные методы наблюдения, дающие несколько отличающиеся изображения объекта. Благодаря малой длине волны рентгеновского излучения рентгеновский микроскоп может достигать дифракционного разрешения порядка нескольких десятков нм и по теоретической величине разрешения занимает промежуточное значение между оптическим и электронным микроскопами.

Типы микроскопов определяются либо областью применения, либо методом исследования. В зависимости от метода исследования микроскопы можно разделить на биологические (люминесцентные, инвертированные) и металлографические (поляризационные).

Измерительные микроскопы используют для точных измерений линейных размеров объекта. При этом возможны два способа измерений:

1) измеряется величина изображения объекта в фокальной плоскости окуляра с помощью шкалы или винтового окулярного микрометра, а затем по известному значению увеличения микроскопа вычисляется измеряемое расстояние на объекте;

2) микроскоп используется для наводки на объект, а расстояния измеряются по относительному перемещению микроскопа и объекта.

По способу формирования изображений различают проекционный, контактный, отражательный и дифракционный рентгеновские микроскопы; по принципу регистрации рентгеновский микроскоп может быть изображающим, образующим действительное или теневое изображение объекта, или сканирующим (растровым). Сканирующий микроскоп регистрирует излучение от одного элемента объекта, находящегося на оптической оси микроскопа, а полное изображение (растр) создаётся при последовательном

перемещении объекта относительно оси микроскопа с помощью прецизионного механизма (пьезотрубки). Преимущества последнего способа регистрации – независимость разрешения от полевых aberrаций оптической системы и, следовательно, отсутствие ограничений на величину поля зрения, а также меньшая радиационная нагрузка на объект исследования.



Рисунок 1 – Основные методы наблюдения и способы формирования изображений в микроскопии

Обычно микроскоп имеет двухступенчатую систему увеличения, образованную объективом и окуляром. В оптическую схему микроскопа входят также элементы, необходимые для освещения объекта.

Важным являются параметры, характерные для определенных устройств, например для фокусирующих устройств существенными оказываются фокусное расстояние, величины aberrации и др. Для целей микроскопии необходимо использовать источники с минимальным размером излучающего пятна и низкой расходимости.

Для расчетов оптических систем на основе преломляющих линз будут взяты параболическая Be CRL (compound refractive lens) и эпоксидная микрокапиллярная линзы.

Параболические линзы изготавливают методом прессования либо фотоанодного травления. Два выпуклых параболоида, направленные точно друг на друга, продавливают лист (например алюминия, бериллия), формируя, таким образом, одну линзу. Большое число таких линз, расположенных в контейнере, представляло собой преломляющую рентгеновскую линзу. В методе

фотоанодного травления (пластины кремния), регулируют фотоанодный ток, управляя профилем образующегося канала. Идея микрокапиллярной линзы основана на том, что капля жидкости в капилляре под действием естественных сил поверхностного натяжения принимает двояковогнутую сферическую форму и может быть использована как фокусирующая рентгеновское излучение преломляющая линза.

Геометрические и рентгенооптические характеристики Ве параболической и микрокапиллярной линз показаны в таблице 1.

Таблица 1 – Параметры эпоксидной микрокапиллярной и Ве CRL линзовой системы

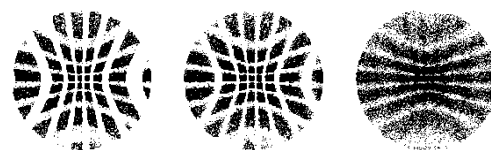
Параметр	Микрокапиллярная линза	Ве CRL
Энергия фотонов E_b , КэВ	9,25	9,25
Коэффициент поглощения μ , см^{-1}	3,8	1,5
Энергия плазменных колебания E_p , эВ	23.6	26.1
Декремент показателя преломления δ	3,11E-06	3,98E-06
Радиус кривизны R, мкм	50	50
Число микролинз N	161	29
Толщина микролинзы d , мкм	50	1000
Длина линзы, мм	27	60
Апертура R_A , мкм	50	225
Фокусное расстояние $F_{\text{теория}}$, см	4,8	21.7
Пропускание центральной части линзы T, %	4.7	1.4

Рассмотрим оптическую систему из двух преломляющих линз – Ве CRL и микрокапиллярной преломляющей линзы. Преломляющие линзы характеризуются конечным числом преломляющих элементов (микролинз) определенным фокусным расстоянием и расстоянием между её главными плоскостями. Отдельную преломляющую линзу будем считать однокомпонентной. В однокомпонентной системе толщины линз и воздушные промежутки между ними могут считаться коррекционными параметрами. В первом приближении однокомпонентную систему будем считать тонкой фокусирующей линзой, расстояние между главными плоскостями которой равно нулю.

Оптическая система, состоящая из двух фокусирующих линз, может быть рассчитана последовательным построением изображения предмета первой линзой. Полученное изображение объекта является предметом для второй линзы.

Результаты расчета изображения в прибли-

жении геометрической оптики для однолинзовой системы показаны на рисунке 2, 3.



R=0мкм R=10мкм R=30мкм

Рисунок 2 – Изображения медной сетки с периодом 10 мкм и толщиной 50 мкм, полученное с помощью микрокапиллярной линзы в зависимости от размера источника

Разрешение оптической системы рассчитывается численным методом с использованием двух точечных источников излучения и расчётом распределения интенсивности в фокальной плоскости.

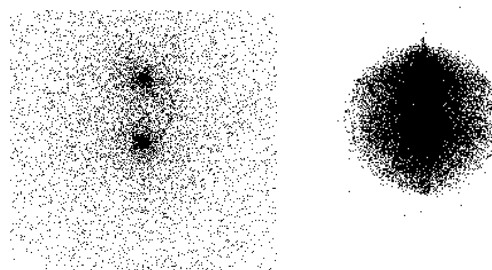


Рисунок 5 – Распределение интенсивности в фокальной плоскости при освещении микрокапиллярной линзы двумя точечными источниками, разнесенных на 9 и 1 мм

В работе будут представлены результаты численного моделирования рентгенооптических свойств двухлинзовых систем, позволяющих формировать изображения объектов и направленные микропучки. Обсуждаются основные методы наблюдения и способы формирования изображений в рентгеновской микроскопии с использованием многоэлементных преломляющих линз.

1. Yu. I. Dudchik, N.N. Kolchevsky, F.F. Komarov. Microcapillary X-ray lens as a novel design of the refractive lens // SPIE Proceedings. - Vol.4766. - 2002.
2. Asadchikov V.E., Kolchevsky N.N., «X-ray microscopy for analysis tracking membrane and biologic objects», High technology and membrane, №3(27), 2005.
3. Kolchevsky N.N. « Optical system of the two refractive X-ray lenses »\ symposium «Nanophysics and nanoelectronics» Niznii Novgorod- 2006.