

ракет при включении излучательных переходов между верхними уровнями подзон. Спектр поляризации спонтанного рекомбинационного излучения становится более широким и с увеличением параметра уширения спектральной линии Γ_{sp} значения P в точках экстремума уменьшаются.

Литература

1. Поляризационные характеристики квантоворазмерных лазерных гетероструктур / Д.В. Карасев, В.К. Кононенко, И.С. Манах, Д.Л. Харевич // Лазерная техника и оптоэлектроника. – 1992 № 3–4. – С 52–55.
2. Кононенко В.К. Оптические свойства гетероструктур с квантоворазмерными слоями / Препринт / ИФ АН БССР: № 492. Мн.: 1987 – 52 с.
3. Спектры усиления и люминесценции широкополосных излучателей на основе асимметричных квантоворазмерных гетероструктур / В.К. Кононенко, И.С. Манах, С.В. Навилко и др. // ЖПС. – 1997. Т. 64. № 2. – С. 221-227.
4. Buikевич A.G., Kononenko V.K., Manak I.S. Spectral Broadening effects on the radiation polarisation in quantum-well heterostructures // Lightmetry 2002. 2nd International Conference on Measurements of Light. Program and Abstracts. – Warsaw. 2002. – P. 30-31.

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ
ИЗОБРАЖЕНИЙ ОБЪЕКТОВ В РЕНТГЕНОВСКОМ
ДИАПАЗОНЕ СПЕКТРА ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ
ПРЕЛОМЛЯЮЩЕЙ ЛИНЗЫ**

Ю.В. Петрович

**Научный руководитель – Н.Н. Кольчевский
Белорусский государственный университет**

Благодаря малой длине волны рентгеновского излучения возможный рентгеновский микроскоп может достигать дифракционного разрешения порядка нескольких десятком нанометров и по теоретической величине разрешения занимает промежуточное место между оптическим и электронным микроскопами. По способу формирования изображения, существующие рентгеновские микроскопы делятся на проекционные, контактные, отражательные, дифракционные. Однако до настоящего времени не существовало изображающих объективов аналогичным в оптике, основу которых составляет преломляющая линза [1].

Появление новой преломляющей оптики и экспериментальные работы, показывающие принципиальную возможность не только фокусировать рентгеновское излучение с энергией 15-30 кэВ, но и возможность получения изображений объектов в жестких рентгеновских лучах делают актуальной задачу разработки изображающего рентгеновского объектива [2-5].

Целью настоящей работы являлось исследование оптических параметров веществ в рентгеновском диапазоне для определения оптимального спектрального диапазона и возможных параметров преломляющих объективов для получения изображений

Изображающие свойства линзы можно описать с помощью следующих параметров: фокусного расстояния, разрешающей способности, глубины резкости.

Фокусное расстояние системы линз рассчитывается по следующей формуле и хорошо соответствует экспериментальным данным [2-5]:

$$F = R / 2 \delta N, \quad (1)$$

где $n=1-\delta$ - действительная часть показателя преломления вещества; R – радиус линзы; N – число отдельных линз.

Разрешающая способность характеризует возможность объектива воспроизводить изображение двух близких точек объекта. Пользуясь теорией дифракции можно вычислить наименьшее расстояние разрешимое объективом [6]:

$$R_{\text{отв}} = 0,61 \lambda F / R_d, \quad (2)$$

где R_d – радиус апертуры линзы.

Поглощение ограничивает эффективную апертуру R_d линзы до величины [2]:

$$R_d = (2 R / \mu N)^{1/2}, \quad (3)$$

где μ - коэффициент линейного поглощения.

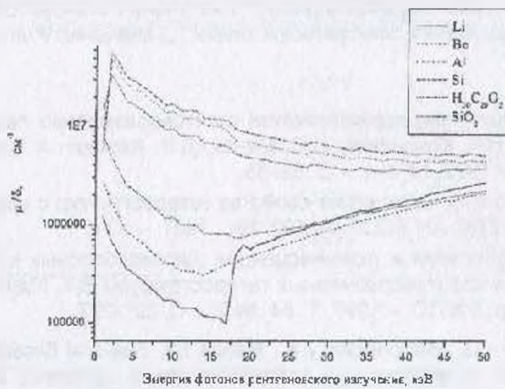


Рисунок 1 - Зависимость μ/δ для различных веществ от энергии фотонов рентгеновского излучения.

Для рентгеновского диапазона с учетом поглощения разрешающая способность определяется как:

$$R_{длп} = 0,61 \lambda F^{1/2} (\mu/\delta)^{1/2} \quad (4)$$

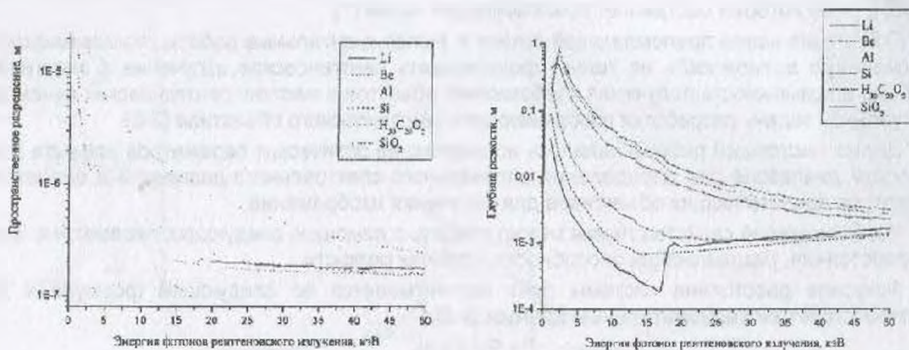
Глубина резкости характеризует наибольшее расстояние, измеренное вдоль оптической оси, между точками в пространстве, изображаемыми объективом достаточно резко, и определяется как [6]:

$$dF = 0,5 \lambda (F/R_d)^2 \quad (5)$$

С учетом соотношения (3) выражение преобразуется к следующему виду:

$$dF = 0,5 \lambda F (\mu/\delta) \quad (6)$$

Как видно из вышеприведенных соотношений изображающие свойства линзы в значительной мере определяются значением параметра (μ/δ) . На рисунке 1 представлены рассчитанные зависимости μ/δ для веществ использующихся в качестве материала преломляющей рентгеновской линзы [2-5]. Численные расчеты проводились для энергий 5-50 кэВ на основе табличных данных [7].



а)

б)

Рисунок 2 - Зависимости пространственного разрешения (а) и глубины резкости (б) для различных веществ как функция энергии фотонов рентгеновского излучения.

На основе полученных данных (рис. 1.) для преломляющих линз с фокусным расстоянием 0,5 м рассчитывались пространственное разрешение и глубина резкости (рис. 2.). Из рисунка 2 видно, что, начиная примерно с 20 кэВ, пространственное разрешение и глубина резкости остается постоянной. Лучшими материалами для изготовления изображающей линзы можно считать легкоатомные вещества (Li, Be), к которым можно отнести полимеры, основными элементами которых являются водород и углерод. Наличие aberrаций и ошибок изготовления будет снижать разрешающую способность и глубину резкости реального объектива, однако на основе прове-

денных расчетов можно заключить, что преломляющая оптика наиболее эффективна при энергии фотонов более 20 кэВ и при использовании короткофокусных объективов.

Данная работа выполнена при частичной поддержке ФФИ Беларуси (грант Ф02М-048).

Литература

1. Рентгеновская оптика и микроскопия: Сб науч. Тр./ Под общ. Ред. Г.Шмаля Д Рудольфа. – М.: Мир, 1987. – 464 с.
2. A.Snigirev, V Kohn, I.Snigireva, B.Lengeler // Nature, 1996, V. 384., P.49
3. Yu.I.Dudchik, N N.Kolchvsky // Nucl. Instrum. and Methods., 1999, A421., P.361.
4. A.Snigirev, V Kohn, I.Snigireva, e.a. // Appl. Opt., 1998, V. 37., P.653
5. Y Kohmura, M.Awaji, Y Suzuki, T.Ishikawa, Yu.I.Dudchik, N.N.Kolchvsky, F.F.Komarov // Rev. Sci. Instrum., 1999, V.70, P. 4161.
6. Борн М., Вольф Э. Основы оптики. – М.: Наука, 1973 - 719 с.
7. Блохин М.А. Швейцер И.Г. Рентгеноспектральный справочник – М.: Наука, 1982. – 376 с.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СПЕКТРАЛЬНОГО СОСТАВА ФОКУСНОГО ПЯТНА ПРЕЛОМЛЯЮЩЕЙ ЛИНЗЫ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ МИКРОФОКУСНОГО ИСТОЧНИКА РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Т.А. Васьюкович

*Научный руководитель – Н.Н. Кольчевский
белорусский государственный университет*

Разработка методов фокусировки рентгеновского излучения началась более века назад. Преломляющие линзы, аналогичные оптическим, считаются непригодными для фокусировки рентгеновского излучения, так как показатель преломления близок к единице, а поглощение рентгеновского излучения веществом велико. Это привело к развитию альтернативных подходов, основанных на применении изогнутых кристаллов и зеркал рентгеновского излучения, зонных пластинок Френеля и Брэгга-Френеля, и капиллярной оптики (оптика Кумахова), построенных на принципах отражающей и дифракционной оптики [1].

В настоящее время интенсивно разрабатываются элементы преломляющей оптики, применение которых для управления рентгеновским излучением до этого считалось неэффективным. Основные работы ведутся на синхротронных источниках третьего поколения (Spring-8, APS, ESRF), характеризующихся высокой направленностью и монохроматичностью испускаемого излучения, такие источники являются дорогостоящими, в настоящее время в мире их число не превышает 60 [2,3,4].

Целью настоящей работы являлось рассмотреть возможности использования преломляющих линз совместно с компактными рентгеновскими трубками.

Вследствие малости длины волны рентгеновского излучения показатель преломления вещества n в рентгеновской области спектра очень близок к единице:

$$n=1-\delta-i\beta, \quad (1)$$

где $1-\delta$ - действительная часть показателя преломления, величина порядка $10^{-6} - 10^{-7}$; i - мнимая единица, β - коэффициент характеризующий поглощение.

Т.к. вакуум (или воздух) является оптически наиболее плотной средой, то для рентгеновского излучения фокусирующей собирающей линзой будет не двояко выпуклая как в обычной оптике, а двояко вогнутая линза.

Идея преломляющей линзы для рентгеновского излучения основана на использовании большого количества преломляющих поверхностей, позволяющих снизить фокусное расстояние линзы до 1 метра. В настоящее время существует множество конструкций преломляющих рентгеновских линз, реализующих данную идею [3-8]. Фокусное расстояние F такой сложной линзы составляет:

$$F=R/26N, \quad (2)$$

где R - радиус кривизны линзы, N - число отдельных линз.