

УДК 548.732

О ВОЗМОЖНОСТИ СОЗДАНИЯ НОВОЙ ДИФРАКЦИОННО-РЕФРАКЦИОННОЙ ЛИНЗЫ ДЛЯ ЖЕСТКОГО РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

А.Г. ГРИГОРЯН, М.К. БАЛЯН, Л.Г. ГАСПАРЯН, М.М. АГАСЯН

Ереванский государственный университет

(Поступила в редакцию 6 февраля 2004 г.)

Описана возможность создания новой коротковолновой линзы для жесткого рентгеновского излучения. В ней используется как явление асимметричной последовательной дифракции в совершенных монокристаллах, так и явление рефракции. Система способна сфокусировать жесткое рентгеновское излучение на расстоянии меньше одного метра и пригодна как для синхротронных, так и для лабораторных источников рентгеновского излучения.

Микроанализ и отображение рентгеновским излучением быстро развиваются в последние несколько лет. Микродифракция, микрофлюоресценция, рентгеновская поглощательная микроскопия и микроскопия фазового контраста с использованием синхротронного излучения имеют множество приложений в фундаментальной науке и технике. Микроанализ требует устройств, которые формируют малое фокусное пятно. Таковыми являются вогнутые зеркала [1] и многослойные структуры [2], одиночные и многократные капилляры [3], дифракционные [4] и рефракционные линзы [5].

В настоящей работе описана возможность создания коротковолновой линзы для жесткого рентгеновского излучения. Мы называем линзу дифракционно-рефракционной, так как в ней используется как явление асимметрично-последовательной дифракции в совершенных монокристаллах, так и явление рефракции, подобно стеклянным линзам для видимого света. Такая комбинированная система способна сфокусировать жесткое рентгеновское излучение на расстояниях меньше одного метра, проста в изготовлении, пригодна как для синхротронных, так и для лабораторных источников рентгеновского излучения, и лишена основных недостатков, присущих существующим подобным устройствам [6].

На рис.1 представлена схема предлагаемого устройства, где используются следующие обозначения: S – источник рентгеновского излучения, α – угол между отражающей плоскостью и поверхностью кристалла, θ – брэгговский угол, R – радиус кривизны линзы, D – расстояние между монокристаллическими блоками.

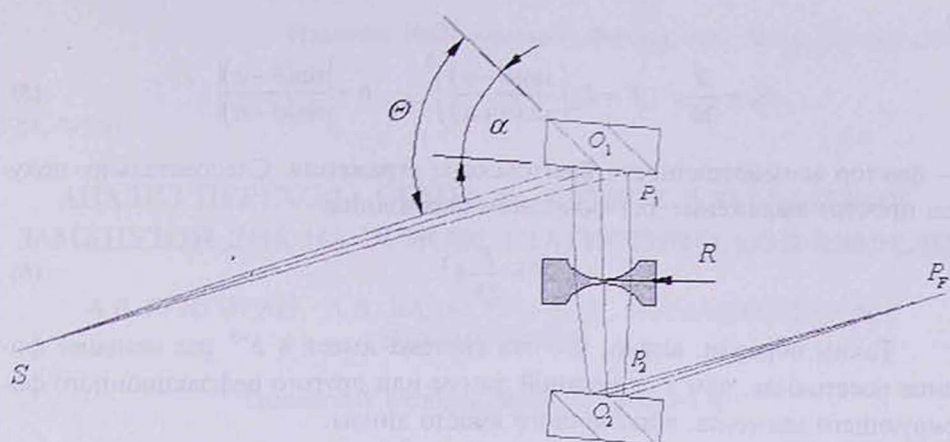


Рис.1. Схематический чертеж дифракционно-рефракционной линзы.

Согласно принципу Гюйгенса-Френеля для падающей сферической волны в приближении геометрической оптики разность фаз волн, пришедших из источника S к точке P_F путем O_1O_2 (центральный луч) и неким произвольным путем P_1P_2 определяется следующей формулой:

$$\Delta\Phi(r_f) = \frac{2\pi}{\lambda} \left(|r_1 - r_s| + |r_2 - r_f| - \frac{x^2 \delta}{R} \sin^2(\theta + \alpha) - r_s - r_f \right), \quad (1)$$

где r_1 это O_1P_1 , r_2 — O_2P_2 , r_s — O_1S , r_f — O_2P_F , $1 - \delta$ — действительная часть индекса рефракции материала линзы, x — координаты точек P_1 и P_2 на поверхности кристалла, а линза перпендикулярна O_1O_2 (для рентгеновского излучения — двояковогнутая линза).

В (1) мы пренебрегаем разностью фаз, возникающей на расстоянии D . Это справедливо, когда $D \ll r_s \sin(\theta + \alpha) / b^2$. Например, если $|r_s| = 1$ м и $b = 0.1$, то $D \ll 100$ м. В параболическом приближении получаются следующие выражения:

$$\begin{aligned} |r_1 - r_s| &= r_s + x \cos(\theta - \alpha) + \frac{x^2}{2r_s} \sin^2(\theta - \alpha), \\ |r_2 - r_f| &= r_f - x \cos(\theta - \alpha) + \frac{x^2}{2r_f} \sin^2(\theta - \alpha). \end{aligned} \quad (2)$$

Подставляя уравнение (2) в (1), получаем:

$$\Delta\Phi(r_f) = \frac{2\pi}{\lambda} \frac{x^2}{2} \left(\frac{\sin^2(\theta - \alpha)}{r_f} + \frac{\sin^2(\theta - \alpha)}{r_s} - \frac{2\delta}{R} \sin^2(\theta + \alpha) \right). \quad (3)$$

Из условия постоянства фазы при произвольном x следует:

$$\frac{1}{r_f} + \frac{1}{r_s} = \frac{1}{F_0 b^2}, \quad (4)$$

где

$$F_0 = \frac{R}{2\delta}, \quad F = F_0 \left(\frac{\sin(\theta - \alpha)}{\sin(\theta + \alpha)} \right)^2, \quad b = \left| \frac{\sin(\theta - \alpha)}{\sin(\theta + \alpha)} \right|, \quad (5)$$

b – фактор асимметричности брэгговского отражения. Следовательно, получаем простое выражение для фокусного расстояния:

$$F = \frac{R}{2\delta} b^2. \quad (6)$$

Таким образом, видно, что эта система имеет в b^{-2} раз меньшее фокусное расстояние, чем у одиночной линзы или другого рефракционного фокусирующего элемента, вставленного вместо линзы.

Отметим, что при $r_s = F$ и $r_f \rightarrow \infty$ система будет работать как коллиматор [7].

Можно сравнить предложенную систему с системой из N рефракционных линз. Для фокусного расстояния около 1 м обычно нужно 100 линз [5]. В такой системе поглощение, комптоновское рассеяние, дифракция на малые углы уменьшают эффективность фокусировки. В предложенной системе роль N играет коэффициент асимметричности b^{-2} и при $b = 0.1$ система с одной линзой эквивалентна 100 линзам с общим фокусным расстоянием в 1 м.

ЛИТЕРАТУРА

1. P.Kirkpatrick, A.Baez. J. Opt. Soc. Am., **38**, 766 (1948).
2. J.Underwood, A.Thompson, Y.Wu, R.Giaquiere. Nucl. Instrum. Methods Phys. Res., **A266**, 296 (1988).
3. S.Hoffman, D.Thiel, D.Bilderback. Nucl. Instrum. Methods. Phys. Res., **A347**, 384 (1994).
4. V.Aristov, A.Snigirev, Y.Basov, A.Nikulin. AIP Conf. Proc., **147**, 253 (1986).
5. A.Snigirev, V.Kohn, I.Snigireva, B.Lengeler. Nature (London), **384**, 49 (1996).
6. B.Lengeler, Ch.Schroer, J.Tummler, B.Benner, M.Richwin, A.Snigirev, I.Snigireva, M.Drakopoulos. J. Synchrotron Rad., **6**, 1153 (1999).
7. A.Q.R.Baron et al. Appl. Phys. Lett., **74**, 1492 (1999).

POSSIBILITY OF CONSTRUCTION OF NOVEL REFRACTIVE-DIFFRACTIVE LENS FOR HARD X-RAYS

A.H. GRIGORYAN, M.K. BALYAN, L.G. GASPARYAN, M.M. AGHASYAN

A novel hard X-ray focusing system is described. In this system the asymmetrical diffraction from perfect crystals is used as well as the refraction from a single lens. The system allows one to focus hard X-rays at distances less than 1 m, and may be used in synchrotron sources as well as in conventional X-ray sources.