

05.2; 07

© 1993

О ВОЗМОЖНОСТИ СОЗДАНИЯ ВЕРТИКАЛЬНО ФОКУСИРУЮЩЕЙ РЕНТГЕНОДИФРАКЦИОННОЙ КОРОТКОФОКУСНОЙ ЛИНЗЫ

Л.В. Л е в о н я н, М.К. Б а л я н

Мощным оружием неразрушающей диагностики кристаллических дефектов может стать рентгеновский микроскоп, осуществление которого в ангстремной области длин волн ($\lambda \sim 10^{-10}$ м) связано с решением проблемы создания точно фокусирующей кристалл-дифракционной линзы. Для дифракционной фокусировки рентгеновского пучка в точку необходимо одновременно осуществить фокусировку в двух плоскостях: в плоскости дифракции и в вертикальной плоскости (см., в частности, [1-3]). Если для фокусировки в плоскости дифракции применяются различные способы (фокусировка плоскими кристаллами [4-6], одноосно изогнутыми кристаллами [7-10], кристаллическими зонными пластинами [11] и т.д.), то для фокусировки в вертикальной плоскости в основном используются изогнутые кристаллы [12, 13]. Поскольку радиусы изгиба кристаллов практически не меньше десятков сантиметров, большое увеличение изображения получается на больших расстояниях от рентгенооптического элемента (порядка метров и более).

В данной работе предлагается схема вертикально фокусирующей рентгенодифракционной короткофокусной линзы. Такая линза представляет собой систему из двух кристаллических пластин, изогнутых в вертикальной плоскости (см. рис.). Пластины расположены вогнутыми сторонами друг к другу. Рентгеновский пучок в условиях симметричной геометрии Брэгга многократно отражается от пластин, распространяясь в зазоре между ними, вследствие чего и многократно увеличивается угол сходимости лучей в вертикальной плоскости.

Если обозначить расстояние источник-система через L_0 , радиус изгиба кристаллов R , а расстояние между ними D , то зависимость амплитуды пучка от вертикальной координаты y после $(n+1)$ отражений на расстоянии L_h от системы будет выражаться интегралом

$$E_h(y) \sim \int_{-y_0}^{y_0} \exp \left[\frac{iky'^2}{2} \left(\frac{A_n}{B_n} + \frac{1}{L_h} - \frac{2 \sin \theta}{R} \right) - iky' \left(\frac{y_s}{B_n} + \frac{y}{L_h} \right) \right] dy', \quad (1)$$

где $2y_0$ - вертикальные отражающие размеры пластин, $k = \frac{2\pi}{\lambda}$ - волновое число, θ - угол Брэгга, y_s - вертикальная координата источника, а A_n и B_n определяются как

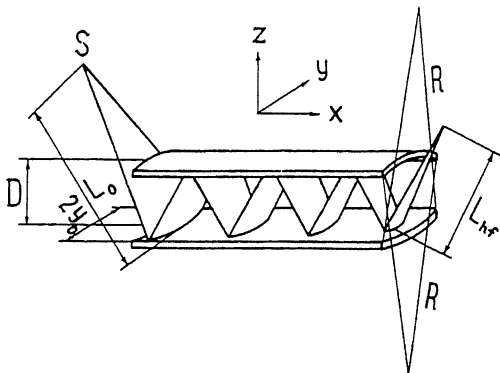


Схема вертикально фокусирующей рентгенодифракционной короткофокусной линзы. S – точечный источник рентгеновских лучей, R – радиус изгиба кристаллических пластин, D – расстояние между пластинами, $2y_0$ – отражающие размеры пластин, L_0 – расстояние источник–линза, L_{hf} – расстояние линза–фокус.

$$A_n = T_n(\rho) - \left(\frac{2L_0 \sin\theta}{R} - \frac{D}{R} \right) U_{n-1}(\rho), \quad (2)$$

$$B_n = L_0 T_n(\rho) + L_0 \frac{D}{R} \left(\frac{R}{L_0 \sin\theta} - 1 \right) U_{n-1}(\rho), \quad (3)$$

где $T_n(\rho)$ и $U_n(\rho)$ – полиномы Чебышева n -го порядка первого и второго рода соответственно, $\rho = 1 - \frac{D}{R}$.

Согласно (1)–(3), отраженный пучок будет фокусироваться на расстоянии L_{hf} , удовлетворяющем условию

$$\begin{aligned} \frac{1}{L_0} \left(T_n - \frac{D}{R} U_{n-1} \right) + \frac{1}{L_{hf}} \left[T_n + \frac{D}{R} \left(\frac{R}{L_0 \sin\theta} - 1 \right) U_{n-1} \right] = \\ = \frac{2 \sin\theta}{R} \left[T_n + \left(1 - \frac{D}{R} \right) U_{n-1} \right], \end{aligned} \quad (4)$$

а линейное увеличение изображения определится соотношением

$$M = \frac{L_{hf}}{B_n}. \quad (5)$$

Из (4) нетрудно получить формулу линзы:

$$\frac{1}{L_0} + \frac{1}{L_{hf}} = \frac{2 \sin \theta}{R} \left[1 + \frac{\operatorname{tg}(n\psi)}{\psi} \right], \quad (6)$$

где $\psi = \left(\frac{2D}{R}\right)^{1/2}$. При выводе формулы (6) было сделано следующее приближение:

$$\psi \operatorname{tg}(n\psi) \ll 1, \quad (7)$$

которое возможно при $\frac{D}{R} \ll 1$.

Если удовлетворяется условие $n\psi \ll 1$, то вместо (6) и (5) соответственно получим

$$\frac{1}{L_0} + \frac{1}{L_{hf}} = \frac{2 \sin \theta}{R} (n+1), \quad (8)$$

$$M = \frac{L_{hf}}{L_0}. \quad (9)$$

В этом случае фокусное расстояние системы в $(n+1)$ раз меньше фокусного расстояния одного изогнутого кристалла ($n=0$) [13]. Как нетрудно убедиться из (8) и (9), то же увеличение, что и в случае одного изогнутого кристалла, получается на $(n+1)$ раз меньшем расстоянии ($L_0 + L_{hf}$).

Согласно (4), в зависимости от значения отношения $\frac{D}{R}$, фокусное расстояние системы может меняться в широких пределах. Это обстоятельство позволяет системе работать в собирающем режиме даже при расстояниях $L_0 = 0$ или $L_{hf} = 0$.

В заключение заметим, что предложенную систему можно использовать и как монохромоколлиматор, который будет иметь большую светосилу, чем предложенный в [14] монохромоколлиматор с многократным отражением, состоящий из двух плоскопараллельных пластин. При этом, подобрав соответствующие параметры системы, можно получить плоскопараллельный пучок коллимированный не в одной, как в [14], а в двух взаимноперпендикулярных плоскостях.

С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] Verreman D.W., Stamatoff J., Kennedy S.J. // Appl. Opt. 1977. V. 16. N 8. P. 2081-2085.

- [2] Л е в о н я н Л.В., Б а л я н М.К. // Тез. докл. второго Всесоюзного совещания по межвузовской комплексной программе „Рентген“, Черновцы, 1987. 99 с.
- [3] Г а б р и е л я н К.Т., П и с к у н о в Д.И., Ч у х о в с к и й Ф.Н., Д е м и р ч я н Г.О. // Письма в ЖЭТФ. Т. 46. В. 10. С. 411-413.
- [4] И н д е н б о м В.Л., С л о б о д е ц к и й И.Ш., Т р у н и К.Г. // ЖЭТФ. 1974. Т. 66. В. 3. С. 1110-1120.
- [5] А ф а н а с ь е в А.М., К о н В.Г. // ФТТ. 1977. Т. 19. В. 6. С. 1775-1782.
- [6] Л е в о н я н Л.В. // Письма в ЖТФ. 1981. Т. 7. В. 5. С. 269-272.
- [7] П е т р а ш е н ь П.В., Ч у х о в с к и й Ф.Н. // Письма в ЖЭТФ. 1976. Т. 23. В. 7. С. 385-388.
- [8] С у м б а е в О.И., Л а п и н Е.Г. // ЖЭТФ. 1980. Т. 78. В. 2. С. 802-812.
- [9] К у ш н и р В.И., С у в о р о в Э.В. // Письма в ЖЭТФ. 1980. Т. 32. В. 9. С. 551-554.
- [10] Г а б р и е л я н К.Т., Ч у х о в с к и й Ф.Н., П и н с к е р З.Г. // ЖТФ. 1980. Т. 50. В. 1. С. 3-11.
- [11] А р и с т о в В.В., Б а с о в Ю.А., С н и г и р е в А.А. // Письма в ЖТФ. 1987. Т. 13. В. 2. С. 114-118.
- [12] v. H á m o s L. // Ann. d. Phys. 1933. V. 17. N 6. P. 716-724.
- [13] S p a r k s C.J., I s e G.E., W o n g J., B a t t e r m a n B.W. // Nuclear Instruments and Methods. 1982. V. 195. N 1. P. 73-78.
- [14] B o n z e U., H a r t M. // Appl. Phys. Lett. 1965. V. 7. N 9. P. 238-240.

Ереванский государственный
университет

Поступило в Редакцию
27 декабря 1992 г.