

07;12

## **Модель двумерно-фокусирующей ультразвуковой рентгеновской линзы, основанной на идее брэгг-френелевской оптики**

© А.М. Егиазарян

Институт прикладных проблем физики НАН Армении, Ереван

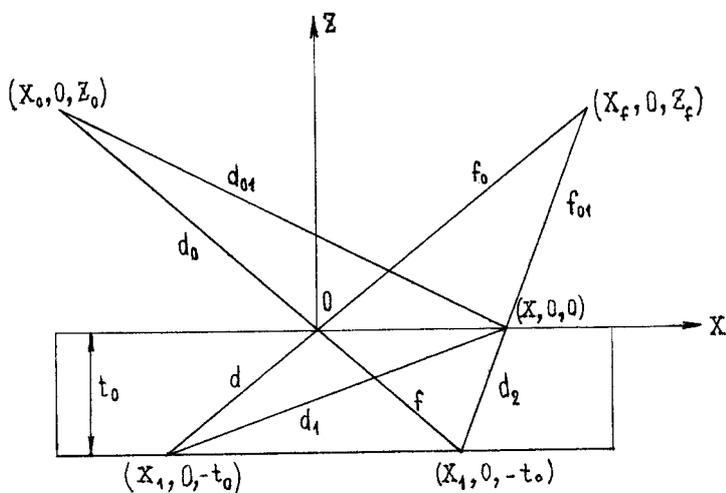
Поступило в Редакцию 12 ноября 1996 г.

В работе предлагается модель двумерно-фокусирующей рентгеновской линзы, работа которой основана на использовании принципа брэгг-френелевской оптики. Показано, что линза имеет большую светосилу.

Бурное развитие микроэлектроники обусловило предложение и создание новых элементов рентгеновской оптики. В частности, в работах [1,2] экспериментально осуществлена одномерно-фокусирующая рентгеновская линза, принцип работы которой основан на идее брэгг-френелевской оптики — нового развивающегося направления рентгеновской оптики. На входной поверхности совершенного монокристалла создана такая одномерная микроструктура, что в брэгговском отражении падающего пучка рентгеновских лучей участвуют только зоны Френеля с четными номерами, которые фокусируют пучок в одном направлении.

В предложенной работе представлена модель двумерно-фокусирующей рентгеновской линзы, работающей, как описано выше. Двумерная микроструктура на входной поверхности монокристалла создается интерференцией ультразвуковых волн.

Допустим, что пучок монохроматического рентгеновского излучения точечного источника, расположенный в точке  $(x_0, 0, z_0)$ , падает на входную поверхность  $(x, 0, y)$  совершенного монокристалла с параллельными гранями (см. рисунок). Отражающие плоскости параллельны входной поверхности. Одновременно в точках  $(-x_1, 0, -t_0)$ ,  $(x_1, 0, -t_0)$ ,  $(0, -y_1, -t_0)$  и  $(0, y_1, -t_0)$  выходной поверхности монокристалла возбуждаются точечные, попарно когерентные источники ультразвуковых волн. Эти волны интерферируют внутри кристалла в пространственных



(XOZ) сечение схемы предложенной модели линзы.

областях их наложения и благодаря этой интерференции на входной поверхности монокристалла создается соответствующая микроструктура. Когда эта микроструктура совпадает с геометрией одномерных френелевских зон в направлениях  $OX$  и  $OY$ , отраженный рентгеновский пучок фокусируется в этих направлениях в точке  $(x_f, 0, z_f)$ .

Поверхности постоянной интенсивности в интерференционном поле ультразвуковых волн, возбужденных в точках  $(-x_j, 0, -t_0)$  и  $(x_j, 0, -t_0)$ , гиперболы, которые удовлетворяют уравнению

$$d_1 - d_2 = \text{const}, \tag{1}$$

где

$$d_1 = \sqrt{(x + x_1)^2 + t_0^2},$$

$$d_2 = \sqrt{(x - x_1)^2 + t_0^2}. \tag{2}$$

Когда удовлетворяется условие

$$k \frac{x^4}{d^3} \ll 1, \quad (3)$$

где  $k$  — волновое число ультразвука, уравнение (1) принимает следующий вид:

$$\frac{2x x_1}{d} = \text{const}. \quad (4)$$

Нетрудно убедиться, что соответствующие области поверхностей максимальной и минимальной интенсивности, когда возбуждены точки  $(-x_1, 0, -t_0)$ ,  $(x_1, 0, -t_0)$ ,  $(0, -y_1, -t_0)$  и  $(0, y_1, -t_0)$ , равнорасположенные, взаимно перпендикулярные плоскости, параллельные плоскостям  $(ZOY)$  и  $(ZOX)$ . Функция  $\bar{u}$  отклонения кристалла на входной поверхности монокристалла меняется соответственно расположению этих плоскостей, благодаря чему на этой поверхности возникает соответственная микроструктура.

Из условия отражения рентгеновского излучения

$$\frac{x_0}{d_0} = -\frac{x_f}{f_0} \quad (5)$$

и условия возникновения  $m$ -й зоны Френеля

$$d_0 + f_0 + m\lambda < d_{01} + f_{01} < d_0 + f_0 + m\lambda + \frac{\lambda}{2} \quad (6)$$

для координат  $x_m$  границы этой зоны, в приближении квадратичных членов, получим

$$m\alpha\lambda < x_m^2 < m\alpha\lambda + \frac{\alpha\lambda}{2}, \quad (7)$$

где  $\lambda$  — длина волны рентгеновского излучения  $a$

$$\frac{1}{\alpha} = \frac{1}{d_{01}} + \frac{1}{f_{01}} - \frac{2x_0^2}{d_{01}^3} - \frac{2x_f^2}{f_{01}^3}. \quad (8)$$

Численная оценка условия (7) показывает, что размеры соседних зон начиная с третьей зоны совпадают в приближении сотых цифр. Следовательно, можно утверждать, что соответствующие области границ зон Френеля взаимно перпендикулярные, равнорасположенные прямые, параллельные плоскостям  $(ZOY)$  и  $(ZOX)$ . Выбором частоты ультразвука

можно достичь того, что плоскости максимальной интенсивности интерференционного поля, определяющиеся условием (4), проходят через середины френелевских зон с четными номерами, которые, вследствие взаимодействия с ультразвуком, попадут в угловую область отражения Вульфа–Брэгга. В этом случае зоны с нечетными номерами находятся вне этой области и в отражении рентгеновских лучей участвуют только зоны Френеля с четными номерами, которые усиливают друг друга. В результате в точке фокуса  $(x_f, 0, z_f)$  наблюдается фокусировка рентгеновского излучения в направлениях  $OY$  и  $OX$ . Вычисления показывают, что относительная интенсивность рентгеновского излучения в этой точке (по отношению к интенсивности отраженного излучения от монокристаллов, когда микроструктура отсутствует) пропорциональна параметру  $N$ , где  $N$  — число действующих зон Френеля. Таким образом, предложенная модель двумерно-фокусирующей ультразвуковой рентгеновской линзы, работа которой основана на принципе брэгг-френелевской оптики, обладает также большой светосилой.

Автор приносит свою благодарность академику А.Р. Мкртчяну за ценные обсуждения.

## Список литературы

- [1] Аристов В.В. и др. // Письма в ЖЭТФ. 1986. Т. 44. В. 4. С. 207.
- [2] Аристов В.В., Басов Ю.А., Снигерев А.А. // Письма в ЖЭТФ. 1987. Т. 13. В. 2. С. 114.