

НЕКОТОРЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ПРОФИЛЯ ПОВЕРХНОСТИ РЕНТГЕНООПТИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ

В.В. Грибко¹⁾, В.Н. Трушин²⁾, А.С. Маркелов²⁾

¹⁾Нижегородский государственный университет имени Н.И. Лобачевского,
пр. Гагарина 23, 603950 Нижний Новгород, Россия, gribkovladimir@icloud.com

²⁾Научно-исследовательский физико-технический институт ННГУ,
пр. Гагарина 23, 603950 Нижний Новгород, Россия, trushin@phys.unn.ru, alm.nnov@gmail.com

Исследуется возможность формирования профилей поверхности рентгенооптических элементов для решения задач фокусировки и коллимации рентгеновских пучков. Средствами моделирования показана возможность интерактивного управления кривизной профиля поверхности таких элементов с помощью приложения электрического поля к подложке-пьезопроводу, на которой они закреплены. В ходе расчетов показано влияние форм составных частей блока управления рентгеновского излучения на исходный профиль и кривизну поверхности рентгенооптических элементов, являющихся их составной частью. В частности, показана возможность получения параболических и эллиптических профилей поверхности рентгенооптических элементов, что может быть использовано при создании адаптивных элементов рентгеновской оптики для двумерной фокусировки и коллимации рентгеновского пучка.

Введение

Для создания рентгенооптических элементов, решающих задачи коллимации и фокусировки рентгеновского излучения, как правило, используют деформированные кристаллы. Для придания поверхности таких элементов определенного профиля их подвергают неоднородному изгибу. Для этого используют такие способы как, например, упругая деформация [1] или термопластический изгиб [2]. Исследуется также возможность создания фокусирующих и коллимирующих рентгенооптических систем на основе деформируемых кристаллов и периодических структур с переменным периодом [2].

В настоящее время для управления параметрами рентгеновского пучка наряду со стационарными рентгенооптическими элементами все большее применение находят элементы адаптивной рентгеновской оптики [1-6]. Интерактивное управление параметрами сходимости рентгеновского пучка имеет важное значение для исследований в таких областях как медицина, астрономия, исследование биологических объектов, определение реальных структур кристаллов и наноматериалов, а также в микро- и нанoeлектронике. Наиболее активное развитие адаптивной рентгеновской оптики происходит, прежде всего, в астрономии, при разработке рентгенооптических систем для телескопов [1-5], в таких проектах как Smart X-ray Optic [1], Generation-X [5] и др., а также на объектах синхротронного излучения [6].

В данной работе исследуется влияние формы составных частей блока управления сходимостью рентгеновского излучения на исходный профиль и кривизну поверхности рентгенооптического элемента, в качестве которого использовалась монокристаллическая пластина кремния (Si).

Основная часть

Блок управления сходимости рентгеновского излучения представляет собой систему, состоящую из двух частей: управляющая часть, которая представляет собой плоскопараллельную подложку, выполненную из пьезоматериала, находящаяся между двумя электродами; и рентгенооптический элемент.

В работе проводится расчет изменений профиля и радиуса кривизны поверхности монокристаллической пластины Si в составе блока управления параметрами сходимости рентгеновского пучка. Для этого решались определяющие уравнения пьезоэлектричества совместно с уравнением упругого равновесия.

В качестве среды для моделирования был использован программный комплекс COMSOL Multiphysics. Данный комплекс предназначен для построения сценарных моделей решения дифференциальных уравнений методом конечных элементов.

На рис. 1а показан профиль поверхности монокристаллической пластины Si (размеры пластины составляли 400 мкм – толщина, размеры полуосей основания 4 мм и 5 мм) (а), сформированный в результате воздействия на подложку-пьезопровод толщиной 1 мм с эллиптической формой основания (размер полуосей основания 5 и 10 мм) электрического поля напряженностью 50 В/мм, посредством двух алюминиевых электродов толщиной 20 мкм. Физические характеристики подложки соответствовали пьезокерамике PZT-5H ($d_{33}=7.41 \cdot 10^{-10}$ Кл/Н).

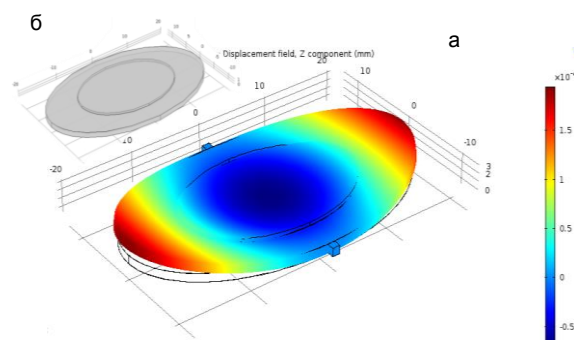


Рис. 1. Профиль поверхности монокристаллической пластины Si (а), сформированный в результате приложения электрического поля к подложке ($E = 50$ В/мм); б – схематичное изображение модельного образца

Поверхность пластины Si в составе блока управления сходимостью рентгеновского излучения (рис. 1а) представляет собой эллипсоид, с локальным радиусом кривизны, рассчитанным в

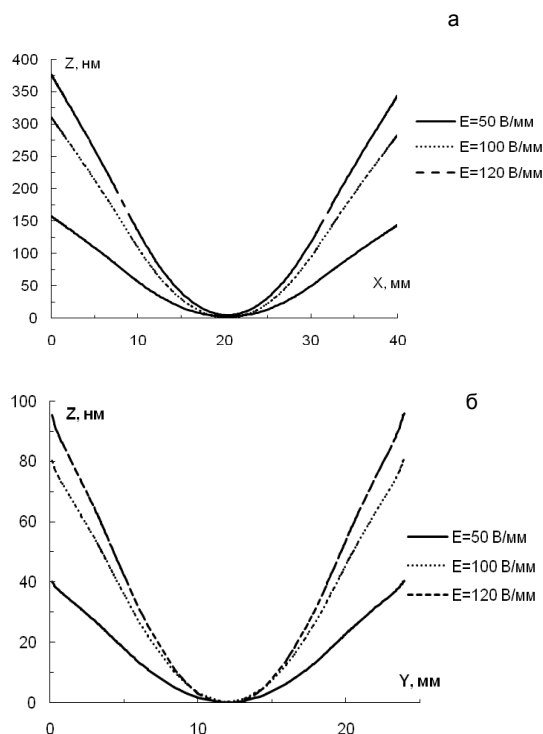


Рис. 2. Сечения профиля поверхности монокристаллической пластины Si, проходящие через центр образца в зависимости от напряженности поля

центре пластины вдоль большей ее полуоси (ось OX, рис. 2а) равным 1.5 м ($E = 50$ В/мм), 0.8 м ($E = 100$ В/мм), 0.6 м ($E = 120$ В/мм), вдоль оси OY (рис 2б) 1.3 м ($E = 50$ В/мм), 0.9 м ($E = 100$ В/мм), 0.85 м ($E = 120$ В/мм).

Аналогичные расчеты были выполнены для образца, подложка которого имела толщину 1 мм основание прямоугольной формы со сторонами 10 мм и 15 мм. Результаты расчетов показали, что в данном случае монокристаллическая пла-

стина Si приобретает профиль параболоида с локальным радиусом кривизны в центре образца, равным 1.25 м в направлении оси OX и 0.8 м в направлении OY. Расчеты проводились для напряженности электрического поля $E = 50$ В/мм.

Заключение

Результаты проведенных исследований показали возможность формирования рентгенооптических элементов с заданным профилем и радиусом кривизны их поверхности путем подбора форм составных частей, входящих в блок управления сходимостью рентгеновского излучения и величиной приложенного к подложке электрического поля. В частности, средствами моделирования показана возможность получения параболических и эллиптических профилей поверхности рентгенооптических элементов с возможностью их интерактивной корректировки. Полученные результаты могут быть использованы при создании адаптивных элементов рентгеновской оптики для двумерной фокусировки и коллимации рентгеновского пучка.

Список литературы

1. Stedman M., Winick G., Brown H. // Workshop on X-Ray Instrumentation for Synchr. Rad. Res., Stanford Linear Accelerator Center. SSRL Rep. 1978. № 78/04. P. VII142.
2. Ахсахалян А.Д., Володин Б.А., Ключенков Е.Б и др. // Поверхность. Рентген., синхротр. и нейтрон. исслед. 2000. № 1. С. 172.
3. Weisskopf M.C. // Adv. Space Res. 2003. V. 32. №10. P. 2005.
4. Jansen F. et al. // A&A. 2001. L1-L6.365.
5. Windhorst R.A. et al. // New Astronomy Reviews. 2006. № 50. P. 121.
6. Stoupina S. // Proc. of SPIE. 2016. V. 7803. P. 780307-1.
7. Roche M. // Proc. of SPIE. 2016. V. 9965. P. 99650I-1.

SOME POSSIBILITIES OF X-RAY OPTICAL ELEMENTS SURFACE PROFILES FORMATION

V.V. Gribko¹⁾, V.N. Trushin²⁾, A.S. Markelov²⁾

¹⁾Nizhny Novgorod State University, 23 Gagarin ave., 603950 Nizhny Novgorod, Russia

²⁾Lobachevsky Physical Technical Research Institute, Nizhny Novgorod State University, 23 Gagarin ave., 603950 Nizhny Novgorod, Russia

Interactive control of the X-ray beam convergence parameters is essential for research in such areas as medicine, astronomy, solid state physics. The most active development of X-ray adaptive optics occurs primarily in astronomy [2-5], in such projects as the Smart X-ray Optic [2], Generation-X [5] etc. and also at synchrotron radiation objects [8]. In these work piezoelectric actuators were used to change and correct X-ray optical element surface profiles.

In this work, the changes in the profile and radius of curvature of the surface of a single-crystal Si plate are computed as a part of the control unit for the parameters of the convergence of the X-ray beam. The X-ray Convergence Control Unit is a system consisting of two parts: a control part that is a plane-parallel substrate made of a piezoelectric material that is located between two electrodes and an X-ray optical element.

The results of the research showed the possibility of the formation of X-ray optical elements with a predetermined profile of the surface by changing the form of the substrate of X-ray convergence control unit. In particular, process of modeling demonstrated the possibility of acquiring parabolic and elliptical surface profiles of x-ray optical elements. The results can be used in the development of adaptive elements of the X-ray optics for collimation and focusing two-dimensional X-ray beams.