

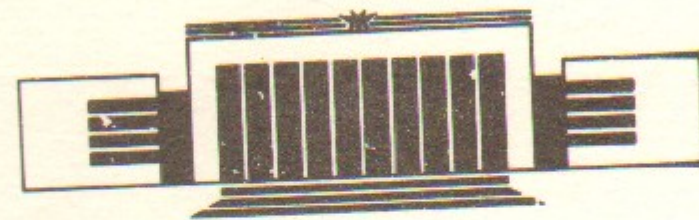


ИНСТИТУТ ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ СО АН СССР 8

В.В. Аристов, Ю.А. Басов, Г.Н. Кулипанов,
В.Ф. Пиндюрин, А.А. Снигирев, А.С. Соколов

ПЕРВЫЙ ОПЫТ ПЕРЕДАЧИ
ИЗОБРАЖЕНИЯ БРЭГГ — ФРЕНЕЛЕВСКОЙ
РЕНТГЕНОВСКОЙ ЛИНЗОЙ

ПРЕПРИНТ 88-18



НОВОСИБИРСК

**Первый опыт передачи изображения
брэгг—френелевской рентгеновской линзой**

В.В. Аристов, Ю.А. Басов, А.А. Снигирев

Институт проблем технологии микроэлектроники
и особочистых материалов АН СССР,
142432, Черноголовка, Московская обл.

Г.Н. Кулипанов, В.Ф. Пиндюрин, А.С. Соколов
Институт ядерной физики СО АН СССР
630090, Новосибирск 90

АННОТАЦИЯ

В белом синхротронном излучении в жесткой области спектра ($\lambda \sim 1 \text{ \AA}$) осуществлена передача изображения периодической сетки с помощью брэгг—френелевской линзы (БФЛ) в схеме с уменьшением в два раза.

© Институт ядерной физики СО АН СССР

Слабое взаимодействие жесткого рентгеновского излучения с веществом — показатель преломления близок к единице — исключает создание преломляющих рентгенооптических элементов по аналогии с оптикой видимого света. Вместе с тем в ряде теоретических и экспериментальных работ показана возможность использования дифракции рентгеновских лучей на кристаллической решетке для когерентного сжатия волнового фронта [1—4]. Было использовано свойство динамической Лауэ-дифракции на совершенных кристаллах, когда показатель преломления вблизи точного значения брэгговского угла претерпевает сильную дисперсию.

В работах [5—6] были предприняты попытки передачи изображения в рентгеновских лучах с использованием эффекта динамической фокусировки. Практическое применение предлагаемых схем ограничено малой угловой апертурой ($\Delta\theta \sim 10^{-4} \div 10^{-5}$) линз, низкой светосилой, и, кроме того, значительные хроматические aberrации требуют использования предварительно монохроматизированного пучка [6].

В этой связи наибольший интерес, по всей видимости, представляет недавно предложенная и реализованная идея создания рентгенооптических элементов как синтез брэгговской дифракции рентгеновских лучей на кристаллической решетке с френелевской дифракцией на искусственной структуре [7—9]. При этом представляется возможность создать эффективные фокусирующие рентгеновские элементы со структурой трехмерных зон Френеля: брэгг—френелевские линзы. Первым простым шагом экспериментальной реализации брэгг—френелевской линзы явилось создание профиля на монокристалле кремния по закону одномерных зон Френеля, размеры которых r_N могут быть выражены как:

$$r_N = \frac{1}{\sin \theta} \sqrt{f \lambda N},$$

где N — номер зоны, f — фокусное расстояние, θ — брэгговский угол, λ — длина волны излучения. Угловая апертура такой линзы может существенно превышать угловую ширину отражения совершенного кристалла. Разрешение БФЛ определяется размером последней зоны. Существенным преимуществом БФЛ по сравнению как с предложенными ранее фокусирующими элементами на основе динамической дифракции по Лауэ, так и с обычной френелевской оптикой является практическое отсутствие хроматических аберраций.

Целью настоящей работы является демонстрация возможности передачи изображения с помощью БФЛ в полихроматическом рентгеновском излучении.

Эксперименты выполнялись на пучке синхротронного излучения из сверхпроводящей «змейки», установленной на электрон-позитронном накопителе ВЭПП-2М [10] (Новосибирск, Институт ядерной физики СО АН СССР). При типичных условиях съемок энергия электронов в накопителе составляла 630 МэВ, максимальное магнитное поле на оси «змейки» 71 кГс, электронный ток в накопителе 30 мА. Поперечные размеры электронного пучка в змейке (размеры источника излучения) составили 60×800 мкм. Пучок СИ выпускался из вакуумной камеры накопителя через бериллиевые окна (суммарная толщина Be 200 мкм), которые обрезали длинноволновую часть спектра.

В качестве БФЛ использовалась линейная зонная пластинка Френеля, изготовленная в виде профиля на поверхности (111) совершенного монокристалла Si (рис. 1). Основные геометрические параметры БФЛ составили: ширина центральной зоны 20 мкм, крайней 0,5 мкм; полная ширина линзы 200 мкм; длина 1 мм; высота зон 3 мкм. Схема эксперимента по передаче изображения приведена на рис. 2. Расстояние от точки излучения до зонной пластинки составляло 5 м.

Использовалось отражение Si(111) для длины волны $1,7 \text{ \AA}$. В этом случае*) фокусное расстояние линзы равнялось $f=5$ см. В качестве объекта была взята сетка из никеля толщиной 7 мкм и периодом 20 мкм, которая была установлена на расстоянии $L_1=15$ см от линзы, а изображение фиксировалось на фотоплас-

*) Изготовленная нами линза позволяла получать разрешение порядка 0,5 мкм и имела дифракционную эффективность 2%.

тинку, расположенную в $L_2=7,5$ см за линзой. Таким образом, согласно формуле линзы $\frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2} = \frac{1}{f}$, такая геометрия эксперимента обеспечивала двукратное уменьшение изображения объекта.

На рис. 3 приведены топограмма изображения сетки, переданного кристаллом с БФЛ, и соответствующая ему денситограмма. Хорошо видно, что в области монокристалла, где нет зонного профиля, изображение сетки передается 1:1. В области зонной пластинки (проекция ее апертуры составляет 70 мкм и показана на рисунке скобкой) изображение сетки удваивается.

Таким образом, в работе впервые продемонстрирована передача изображения с помощью брэгг — френелевской линзы в жестком рентгеновском излучении, что открывает реальную возможность создания рентгеновского микроскопа на основе элементов брэгг — френелевской оптики.

В заключение авторы считают своим долгом выразить благодарность сотрудникам ВЭПП-2М за обеспечение устойчивой работы комплекса в период проведения эксперимента.

ЛИТЕРАТУРА

1. Афанасьев А.М., Кohn В.Г. ФТТ, 1977, т.19, с.1775.
2. Аристов В.В., Половинкина В.И., Шмыгко И.М., Шулаков Е.В. Письма в ЖЭТФ, 1978, т.28, с.6.
3. Aristov V.V., Polovinkina V.I., Afanas'ev A.M., Kohn V.G. Acta Cryst., 1980, v.A36, p.1002.
4. Петрашень П.В., Чуховский Ф.Н. Письма в ЖЭТФ, 1976, т.23, с.385.
5. Инденбом В.Л., Аладжаджян А.Г. ДАН СССР, 1976, т.227, с.828.
6. Kushnir V.I., Suvorov E.V. Phys. Stat. Sol. (a), 1981, v.68, p.109.
7. Aristov V.V., Snigirev A.A., Basov Yu.A., Nikulin A.Yu. AIP Conf. Proc., 1986, v.147, p.253.
8. Аристов В.В., Басов Ю.А., Снигирев А.А. Письма в ЖТФ, 1987, т.13, с.114.
9. Aristov V.V., Basov Yu.A., Redkin S.V., Snigirev A.A., Yunkin V.A. Nucl. Instr. Methods, 1987, v.A261, p.72.
10. Gluskin E.S., Ivanov P.M., Kulipanov G.N., Skrinisky A.N., Shatunov Yu.M. Nucl. Instr. Methods, 1986, v.A246, p.41.

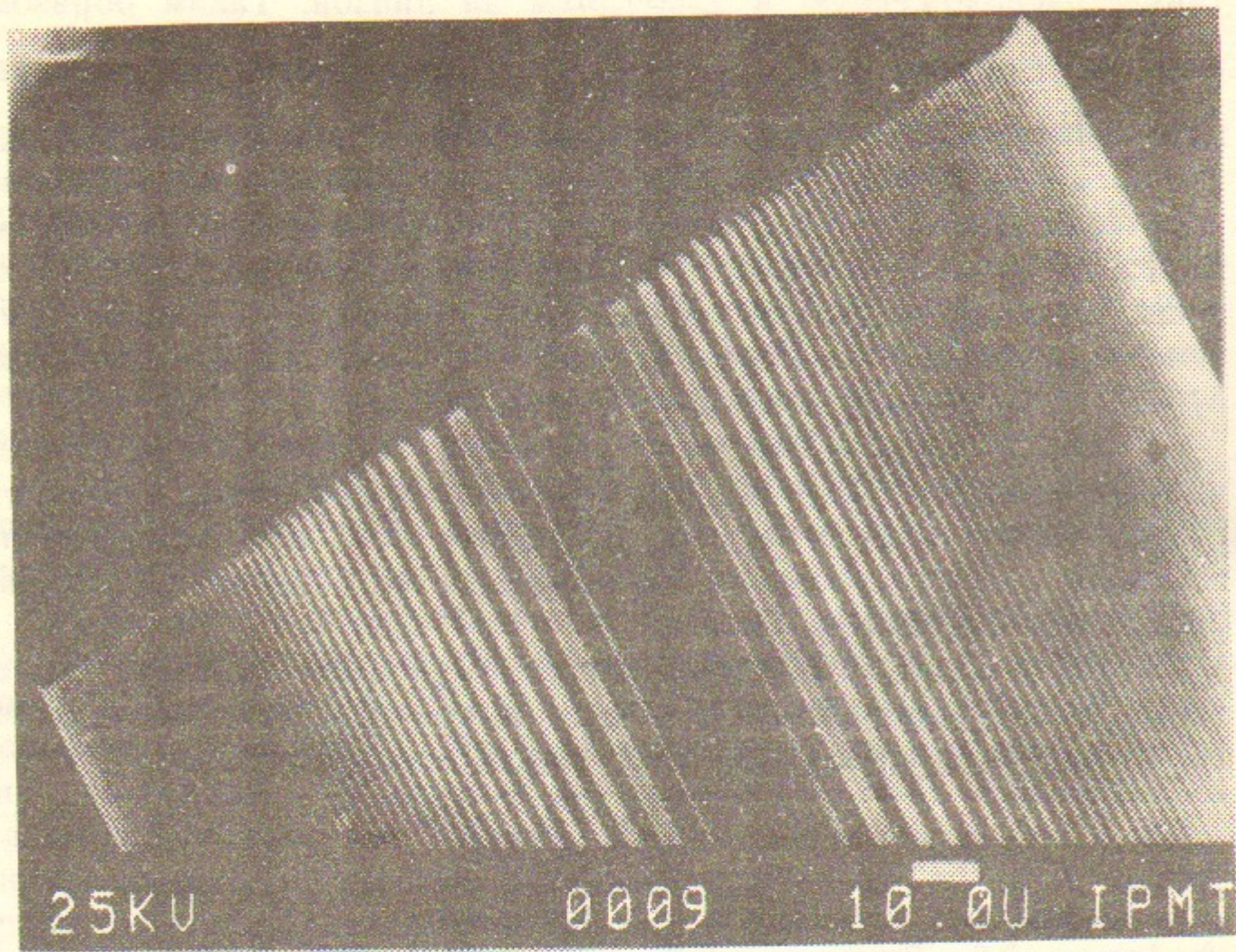


Рис. 1. Брэгг — френелевская линза.

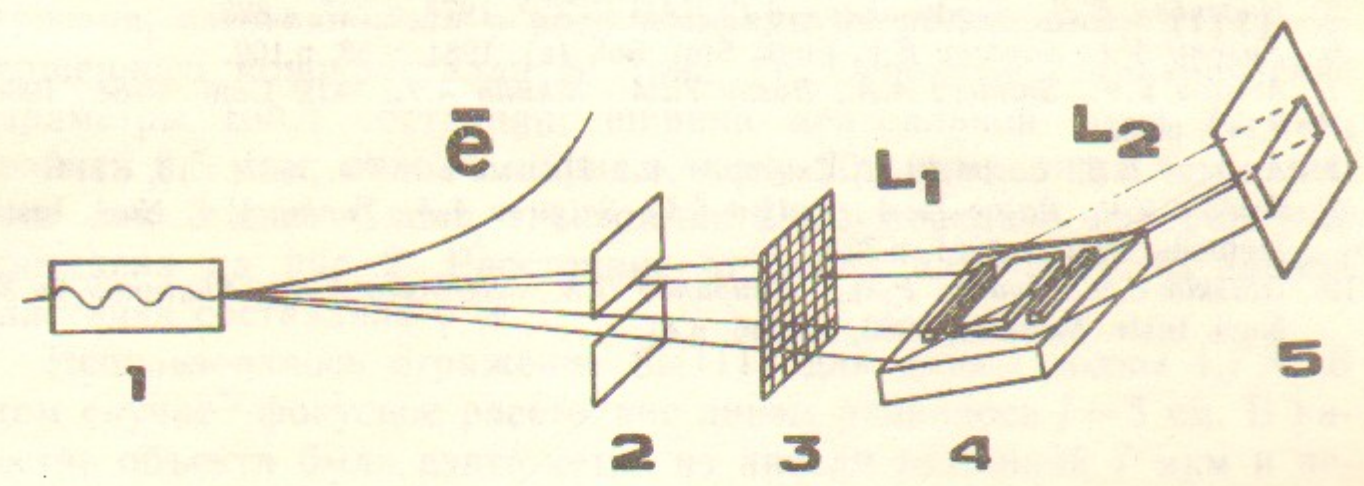


Рис. 2. Схема эксперимента по передаче изображения:
 1 — сверхпроводящая «змея»; 2 — щель; 3 — никелевая сетка; 4 — БФЛ; 5 — плоскость наблюдения.

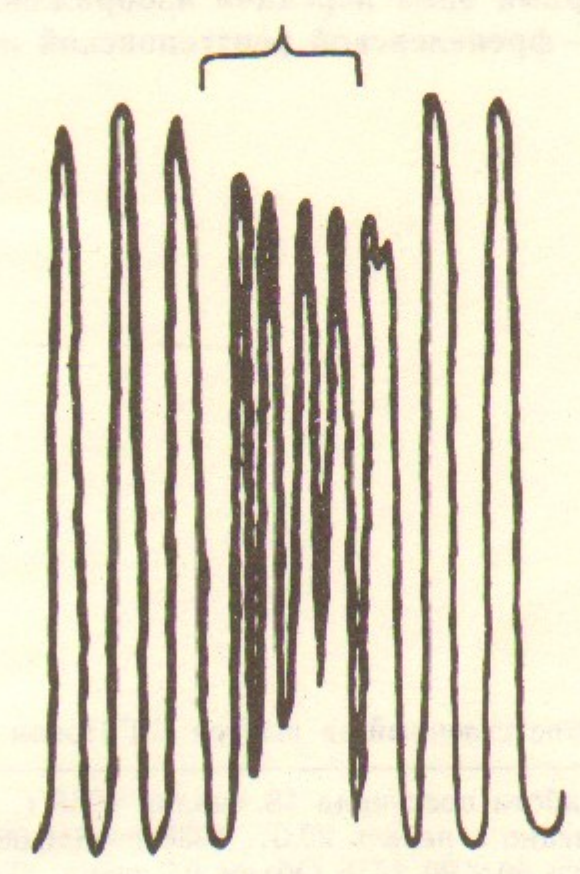
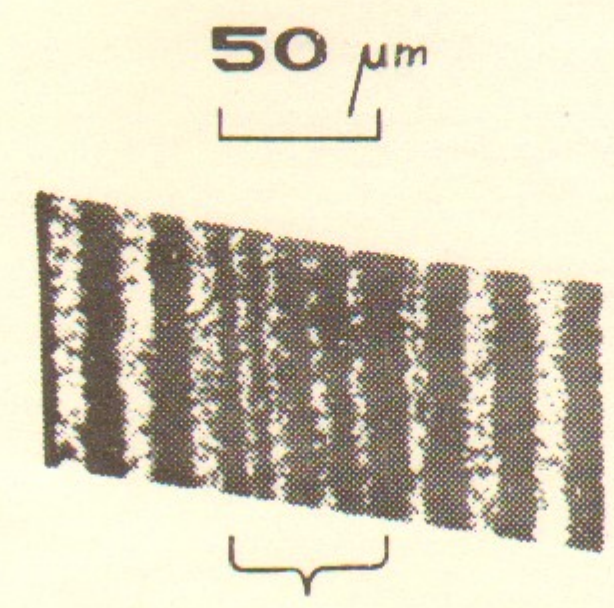


Рис. 3. Экспериментальные топограмма и денситограмма изображения сетки.

*В.В. Аристов, Ю.А. Басов, Г.Н. Кулипанов,
В.Ф. Пиндюрин, А.А. Снигирев, А.С. Соколов*

**Первый опыт передачи изображения
брэгг — френелевской рентгеновской линзой**

Ответственный за выпуск С.Г.Попов

Работа поступила 18 января 1988 г.
Подписано в печать 29.01. 1988 г. МН 08080
Формат бумаги 60×90 1/16 Объем 0,7 печ.л., 0,6 уч.-изд.л.
Тираж 250 экз. Бесплатно. Заказ № 18

*Набрано в автоматизированной системе на базе фото-
наборного автомата ФА1000 и ЭВМ «Электроника» и
отпечатано на ротапринтере Института ядерной физики
СО АН СССР,
Новосибирск, 630090, пр. академика Лаврентьева, 11.*