

УДК 539.22.082.79

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ДЕФОКУСИРОВКИ НА ИНТЕРФЕРЕНЦИОННЫХ КАРТИНАХ, ПОЛУЧЕННЫХ В РЕНТГЕНОВСКИХ ТРЕХБЛОЧНЫХ ИНТЕРФЕРОМЕТРАХ

© 2024 г. Г. Р. Дрмеян^{а,*}, М. С. Василян^а

^аИнститут прикладных проблем физики НАН РА, Ереван, 0014 Республика Армения

*e-mail: drm-henrik@mail.ru

Поступила в редакцию 30.06.2023 г.

После доработки 27.09.2023 г.

Принята к публикации 27.09.2023 г.

Представлены результаты исследования влияния дефокусировки на интерференционных картинах, полученных в рентгеновских трехблочных интерферометрах. Сконструированы, изготовлены и опробованы трехблочные дефокусированные интерферометры без толстого блок-анализатора, с толстым блок-анализатором и с отдельным толстым блоком (увеличителем). Показано, что тонкие структуры интерференционных картин, полученные от трехблочных дефокусированных интерферометров, наблюдаются в тех случаях, когда блок-анализатор интерферометра толстый или применяется увеличитель (четвертый толстый блок). В ходе теоретических расчетов показано, что при наличии дефокусировки в результате наложения пучков на входной поверхности анализатора интерферометра формируется интерференционная картина в виде параллельных полос (линий), лежащих в плоскости рассеяния. Вычислены координаты максимумов интерференционных полос (линий) и период полос в случаях без толстого кристалла и при его наличии, а также собственный коэффициент увеличения. Экспериментально доказано, что толстый кристалл (кристалл-увеличитель) новой информации в интерференционную картину не вносит, а только увеличивает ее размеры в плоскости рассеяния.

Ключевые слова: интерферометр, дефокусировка, полоса смещения, тонкая структура, кристалл-увеличитель.

DOI: 10.31857/S1028096024020154, **EDN:** ATBVWI

ВВЕДЕНИЕ

Известно [1–3], что рентгеновские интерференционные картины возникают не только из-за различия ориентаций и расстояний между отражающими плоскостями, но и из-за других фазовых сдвигов интерферирующих дифрагированных волн. Было показано, что при первичных сферических и δ -образных волнах в поперечных сечениях дифрагированных волн возникают определенные фазовые распределения. В трехблочных интерферометрах интерференционная картина получается наложением волн на входной поверхности третьего блока, и при идеальной геометрии интерферометра (одинаковых расстояниях между блоками) на входной поверхности третьего блока разность фаз между налагающимися волнами равна нулю. Однако достаточно было бы незначительно нарушить геометрию интерферометра, чтобы неидентичные части пучков налагались друг на друга на поверх-

ности третьего блока, что привело бы к возникновению разности фаз между интерферирующими волнами и сложной структуре интерференционной картины (дифракционное наложение нескольких динамических эффектов). Сложная структура не возникла бы при нарушении геометрии интерферометра, если бы дифрагированные пучки не имели бы внутренней фазовой структуры. Изготовление рентгеновских интерферометров с идеальной геометрией невозможно, следовательно, строго говоря, почти всегда интерференционные картины, полученные от трехблочных интерферометров, имеют тонкую структуру.

Таким образом, при отступлении от идеальной геометрии, т.е. нарушении равенства межблочных расстояний (наличии дефокусировки) трехблочного интерферометра или при наличии воздушного зазора (недифрагирующей зоны) между блоками двухблочного интерферометра, пучки, налагающиеся на входной поверхности

последнего блока интерферометра, смещаются относительно друг друга, и между ними возникает разность фаз. Следовательно, наблюдается периодическое распределение интенсивности суммарной волны (рис. 1). В результате формируется интерференционная картина в виде параллельных полос (линий) в плоскости рассеяния, которая установлена в экспериментальном исследовании структуры полос смещения, полученных от двухблочных кристаллических систем с недифрагирующей зоной [4]. Было показано, что, когда блоки достаточно близки друг к другу и один из них или оба толстые, наблюдается тонкая структура интерференционной картины – линии смещения и полосы муара, наложенные друг на друга.

Таким образом, интерференционные картины могут формироваться также в результате смещения дифрагированных пучков на входной поверхности последнего блока. В этом контексте такие картины можно называть линиями или полосами смещения, их принято также называть картинами межветвенного рассеяния.

Влияние дефокусировки на разные характеристики интерференционных картин, а также использование дефокусированных интерферометров для визуализации фазово-контрастного изображения разных структурных нарушений, в том числе биологических, исследовали разные авторы. Например, в [5] теоретически и экспериментально изучали влияние дефокусировки на структуры и контраст образующихся муаровых картин в трехблочном дефокусированном (с нарушением идеальной геометрии) интерферометре. Доказано, что ненулевая дефокусировка создает типичную дополнительную картину, которая накладывается на основную интерференционную картину и ухудшает контраст интерференционных полос.

Факт одновременного наблюдения нескольких динамических эффектов, наложенных друг на друга, подтвержден в [6, 7]. Так, в [6] исследована природа тонкой структуры рентгеновских интерференционных картин, полученных от трехблочной интерференционной системы, состоящей из одного клиновидного и двух толстых параллелепипедальных, близко расположенных (с узкими воздушными зазорами) блоков. Здесь впервые одновременно наблюдаются наложенные друг на друга три динамических эффекта, а именно полосы Пенделлезунга, полосы муара и полосы смещения. В [7] исследован рентгеновский интерферометр Лауэ–Лауэ–Лауэ (Л–Л–Л) с клиновидной зеркальной пластиной. Экспериментально полученные интерференционные картины показывают, что полосы муара накладываются на полосы

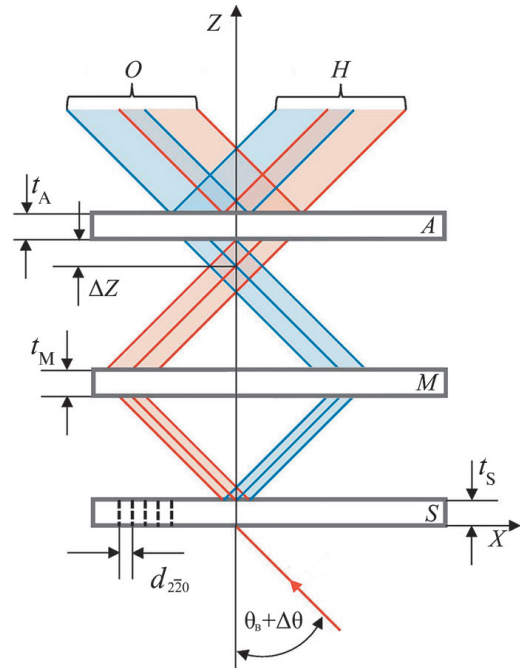


Рис. 1. Дефокусированный трехблочный интерферометр Л–Л–Л и ход лучей в нем с иллюстрацией смещения налагающихся пучков на входной поверхности блока-анализатора: S – блок-расщепитель; M – зеркальный блок; A – анализатор; t_S , t_M , t_A – толщины блоков соответственно; ΔZ – величина дефокусировки; θ – угол Брэгга.

Пенделлезунга, а период полос Пенделлезунга не изменяется после прохождения пластины анализатора. В [8] теоретически изучена зависимость контраста рентгеноинтерференционной картины, полученной в интерферометре Л–Л–Л, от длины волн, величины дефокусировки, разности толщин блоков и от поглощения. В [9] теоретически исследован трехблочный рентгеновский интерферометр с дефокусировкой, состоящий из тонких блоков, и показано, что дефокусировка резко уменьшает контраст интерференционной картины. В [10] представлена теория интерференционного механизма в интерферометре Лауэ. Показано, что геометрическая точность реальных интерферометров должна быть в пределах 1–10 мкм. В [11] изучено влияние дилатации и дефокусировки на интерференционные линии, полученные с помощью интерферометров Л–Л–Л с зеркальными блоками разной толщины. В [12] теоретически исследовано влияние дефокусировки на передаточную функцию когерентной сканирующей интерферометрии. В [13] представлен рентгеновский интерферометр с микроэлектронвольтовым разрешением. Демонстрирован интерферометр жесткого рентгеновского излучения с двумя зеркалами из сапфирового стекла обратного отражения – прототип рентгеновского

интерферометра Фабри–Перо. Интерференционные картины наблюдаются непосредственно на спектральных зависимостях коэффициента отражения. В [14] экспериментально проверена динамическая теория расчета влияния эффекта дефокусировки (разницы между расстояниями от расщепителя до зеркала и от анализатора до зеркала) на фазу интерференционных полос и измерение параметра решетки с помощью сканируемого трехблочного интерферометра. В [15] обсуждаются вопросы фазово-чувствительной визуализации и фазовой томографии с использованием рентгеновских интерферометров. Представлены результаты фазового измерения и фазовой томографии на основе рентгеновской интерферометрии, показано преимущество рентгеновской интерферометрической визуализации по сравнению с другими фазочувствительными методами рентгеновской визуализации. В [16] рассмотрена возможность визуализации фазово-контрастного синхротронного изображения в структуре мягких биологических тканей с использованием рентгеновского интерферометра. В обзоре [17] описаны различные методы рентгеновской томографии для визуализации дефектов кристаллической решетки, рассмотрены вопросы формирования дифракционного контраста, приведены примеры использования рентгеновской томографии для изучения различных структурных дефектов кристаллической решетки. Однако не обсуждается вопрос увеличения разрешения рентгенодифракционных методов. В [18] проанализированы проблемы оптимизации когерентности в нейтронной интерферометрии за счет дефокусировки. В [19] исследовано влияние алюминиевого компенсационного фильтра сложной формы на отношение сигнал/шум при микротомографии геологической сердцевины.

Возникает естественный вопрос, почему в работах этих авторов в интерференционных картинах, полученных от дефокусированных трехблочных интерферометров, до сих пор не наблюдаются полосы смещений. Ответ однозначный – разрешение обычных трехблочных интерферометров для наблюдения полос смещения (линии дефокусировки) недостаточно. Это было доказано с помощью изобретенного дифракционного увеличителя [20–22], который был теоретически обоснован и экспериментально собран [6, 23, 24]. Сущность изобретения в том, что при дифракции рентгеновских лучей в кристаллах угловое расширение пучка сильно увеличивается [25], что обуславливает большое разрешение рентгенодифракционных методов исследования несовершенств кристаллов. Эффект углового расши-

рения был использован для получения линейного увеличения, которое дает возможность улучшить разрешение рентгенодифракционных картин. Этого достигли, пропуская пучок, содержащий информацию о дефектах структуры исследуемого образца (соответствующей рентгенодифракционной картине), через идеальный толстый кристалл, находящийся в отражающем положении.

Таким образом, рентгеновские дифракционные методы, которые широко применяются при выявлении структурных несовершенств кристаллических материалов, имеют ограниченные возможности из-за недостаточности разрешения. В частности, невозможно выявить тонкую структуру рентгенодифракционных картин, полученных от дефокусированных трехблочных интерференционных кристаллических систем. Поэтому задача увеличения разрешения рентгенодифракционных методов актуальна, и целью настоящей работы было исследование влияния дефокусировки на рентгеновские интерференционные картины, полученные от трехблочных интерферометров, путем линейного увеличения (расширения) этих картин в плоскости рассеяния.

Очевидно, что чем выше разрешение рентгенодифракционных методов, тем больше видимость тонкой структуры рентгеноинтерференционных картин, следовательно, больше информации о структурных несовершенствах кристаллических материалов. Поэтому решение такой задачи имеет важное практическое значение.

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Для теоретического подтверждения вышеупомянутых фактов рассмотрим интерференционную систему, состоящую из рентгеновского интерферометра Л–Л–Л с дефокусировкой и толстой поглощающей пластиной (рис. 2).

Пусть рентгеновский волновой пакет с амплитудами D_0^i падает на эту систему (рис. 3). На выходе из системы пучки с амплитудой D_{ohh} и D_{hho} , выходящие из третьего блока интерферометра, распадаются на четыре компоненты: D_{ohhh} , D_{hhoh} , D_{ohho} и D_{hhoo} , где индексы o и h обозначают прохождение и отражение пучка соответственно. Например, D_{ohhh} – амплитуда пучка, проходящего в первом блоке, отраженного в последних двух блоках интерферометра и затем в толстом поглощающем кристалле.

Чтобы найти распределение интерференционных полос, нужно знать фазы Φ_q интерферирующих пучков, которые определяются выражением:

$$D_q = |D_q| \exp(i\Phi_q).$$

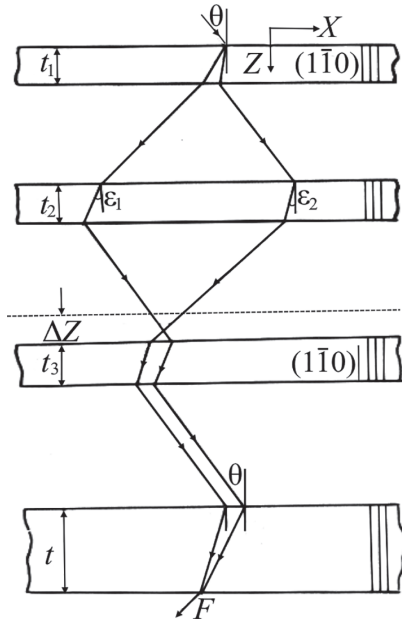


Рис. 2. Система, состоящая из трехблочного дефокусированного интерферометра с тонкими и толстым блоками.

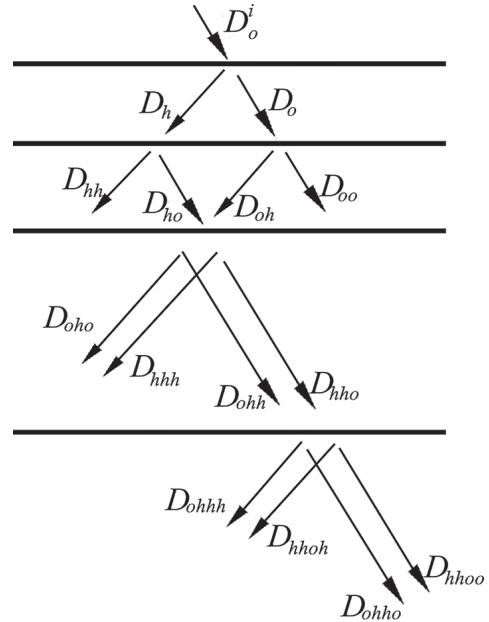


Рис. 3. Распределение амплитуд в системе, приведенной на рис. 2.

Эти фазы можно легко найти из уравнения Такаги [26], применяя метод стационарной фазы [27, 28] и опуская члены, соответствующие сильно поглощающимся волновым модам. Тогда в симметричном случае Лауэ для фаз пучков D_{ohhh} и D_{hhoh} получим следующие выражения:

$$D_{ohhh} = -\frac{\pi}{\Delta_0} (t_1 + t_2 + t_3 + t) (I - P_1^2)^{1/2} + \frac{\pi}{4},$$

$$D_{hhoh} = -\frac{\pi}{\Delta_0} (t_1 + t_2 + t_3 + t) (I - P_2^2)^{1/2} + \frac{\pi}{4},$$

(1)

где t_1, t_2, t_3 – толщины блоков интерферометра; t – толщина толстой пластины (толщина кристалла-увеличителя), Δ_0 – реальная часть экстинкционной длины, параметры $P_1 = \text{tg}\epsilon_1/\text{tg}\theta$ и $P_2 = \text{tg}\epsilon_2/\text{tg}\theta$ характеризуют направления потоков энергии интерферирующих пучков, лучи которых составляют с нормалью к поверхности входа углы ϵ_1 и ϵ_2 , θ – угол Брэгга. Пучки D_{hhoo} и D_{ohho} не будем рассматривать, так как по характеру интерференции они аналогичны пучкам D_{hhoh} и D_{ohhh} .

Обозначая $dP = P_2 - P_1$ и $P = (P_1 + P_2)/2$, из (1) для разности фаз $\Delta\Phi = \Phi_{ohhh} - \Phi_{hhoh}$ получим:

$$\Delta\Phi = \frac{\pi}{\Delta_0} (t_1 + t_2 + t_3 + t) \frac{PdP}{(I - P^2)^{1/2}}.$$

Из рис. 2 видно, что условие интерференции (условие пересечений потоков энергии в точке F) будет иметь следующий вид:

$$t_1 + t_2 + t_3 + t = 2\Delta Z/dP.$$

Комбинируя последнее выражение с условием максимума интерференционных полос ($\Delta\Phi = 2\pi n$) для линий (плоскостей) X_n максимальной интенсивности, получим:

$$X_n = \pm \frac{\Delta_0 n \text{tg}\theta (t_1 + t_2 + t_3 + t)}{\Delta Z [1 + (n\Delta_0 / \Delta Z)^2]^{1/2}},$$

(2)

где ΔZ – величина дефокусировки. Из (2) видно, что полосы дефокусировки (полосы смещения) на пленке являются семейством параллельных линий с периодом Λ , перпендикулярных дифракционному вектору. Получим:

для центральной части топограммы ($n = 1, 2, 3$), где $(n\Delta_0/\Delta Z)^4 \ll 1$,

$$\Lambda = \frac{t + t_1 + t_2 + t_3}{\Delta Z} \Delta_0 \text{tg}\theta \times$$

$$\times \left[1 - \frac{3}{2} n^2 \left(\frac{\Delta_0}{\Delta Z} \right)^3 - \frac{3}{2} n \left(\frac{\Delta_0}{\Delta Z} \right)^3 - \frac{1}{2} \left(\frac{\Delta_0}{\Delta Z} \right)^3 \right],$$

(3)

для полос с большими номерами n , для которых $(\Delta Z/n\Delta_0) \ll 1$

$$\Lambda = \frac{t + t_1 + t_2 + t_3}{\Delta Z} \Delta_0 \text{tg}\theta \left[\frac{\Delta Z}{n(n+1)\Delta_0} \right]^2.$$

(4)

При работе без толстого кристалла (без увеличителя) получим:

для центральной части топограммы

$$\Lambda' = \frac{t_1 + t_2 + t_3}{\Delta Z} \Delta_0 \operatorname{tg} \theta \times \left[1 - \frac{3}{2} n^2 \left(\frac{\Delta_0}{\Delta Z} \right)^3 - \frac{3}{2} n \left(\frac{\Delta_0}{\Delta Z} \right)^3 - \frac{1}{2} \left(\frac{\Delta_0}{\Delta Z} \right)^3 \right], \quad (5)$$

для полос с большими n

$$\Lambda' = \frac{t_1 + t_2 + t_3}{\Delta Z} \Delta_0 \operatorname{tg} \theta \left[\frac{\Delta Z}{n(n+1)\Delta_0} \right]^2. \quad (6)$$

Сравнивая периоды полос Λ и Λ' из (3), (4), (5) и (6), можно констатировать, что наличие толстой пластины (кристалла-увеличителя) дает возможность получить полосы смещения (дефокусировки) с линейным коэффициентом увеличения M :

$$M = \frac{\Lambda}{\Lambda'} = 1 + \frac{t}{t_1 + t_2 + t_3}. \quad (7)$$

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Для экспериментального подтверждения описанных теоретических результатов были сконструированы, изготовлены и опробованы трехблочные дефокусированные интерферометры без толстого блока-анализатора (без увели-

чителя) (рис. 4), с толстым блоком-анализатором (рис. 5), а также с отдельным толстым блоком (увеличителем) (рис. 6).

Интерференционные монолитные системы изготовлены из почти бездислокационного кристалла кремния с параллелепипедальными блоками. В частности, в системе, показанной на рис. 5, толщины $t = 6.1$ мм, $t_1 = 0.72$ мм, $t_2 = 0.78$ мм, $t_3 = 0.71$ мм. В этом случае получим коэффициент увеличения периода полос смещения $M = 4.8$. Использовано отражение $2\bar{2}0$, излучение $\text{MoK}_{\alpha 1}$, величина дефокусировки (разницы между расстояниями от расщепителя до зеркала и от анализатора до зеркала) составляет от 5 до 11 мкм, суммарная толщина блоков – от 3 до 9 мм, период картины дефокусировки – от 20 до 50 мкм.

Экспериментально исследовали тонкие структуры интерференционных картин, полученных от следующих рентгенодифракционных систем: от обыкновенного трехблочного интерферометра с дефокусировкой без увеличителя (рис. 4а) (как видно из рис. 4б, в этом случае линии смещения не наблюдаются); от трехблочного дефокусированного интерферометра с толстым блоком-анализатором (рис. 5а) (из рис. 5б следует, что в этом случае линии смещения наблюдаются без дополнительного увеличения); от трехблочного

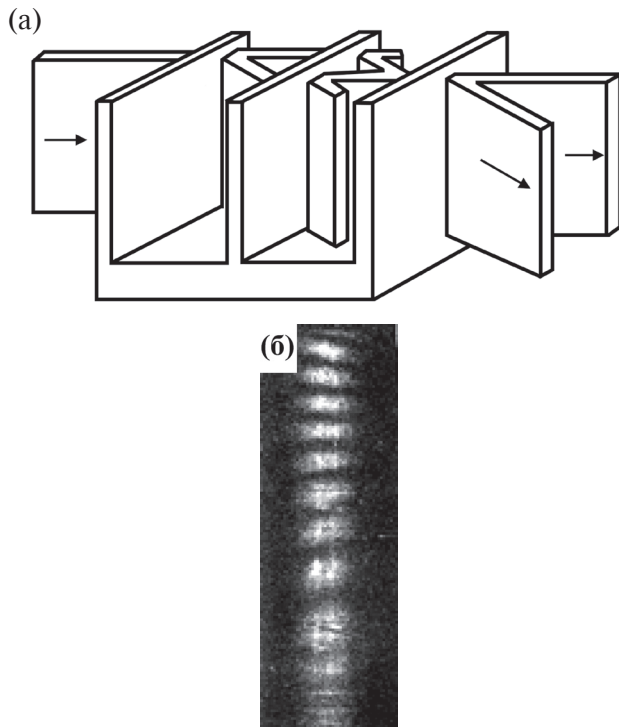


Рис. 4. Дефокусированный трехблочный интерферометр с тонкими блоками и ход лучей в нем (а), а также интерференционная картина, полученная от него (б).

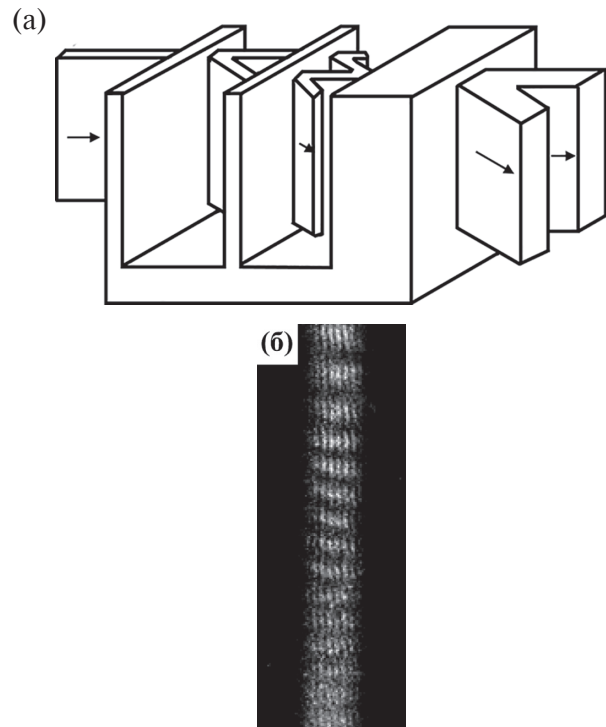


Рис. 5. Дефокусированный трехблочный интерферометр с толстым блоком-анализатором (а) и интерференционная картина, полученная от него (б).

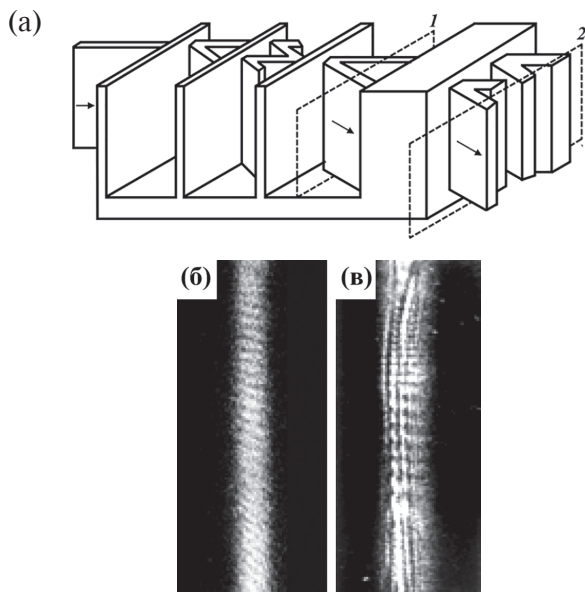


Рис. 6. Система, состоящая из трехблочного дефокусированного интерферометра с тонкими блоками и отдельным толстым блоком (а) и интерференционные картины, полученные на фотопластинке в положениях 1 (б) и 2 (в).

дефокусированного интерферометра с тонкими блоками и от толстого блока (блока-увеличителя) (рис. 6а). Снимки были сделаны в положении 1 и 2 (после трехблочного интерферометра (рис. 6б), и после толстого кристалла-увеличителя (рис. 6в)). Как видно из рисунков, после увеличения четко видны полосы смещения (рис. 6в), до увеличения они не визуализировались (рис. 6б).

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Может показаться, что интерференционные картины, наблюдаемые после увеличителя (идеального толстого кристалла), не существовали до него и образовались в нем, т.е. последний кристалл не играет роли увеличителя, а участвует в процессе образования этих картин. В том, что последний толстый кристалл (увеличитель) только увеличивает линейные размеры дифракционной картины и не вносит никакой дополнительной информации в интерференционную картину, можно убедиться на основании следующих теоретических рассуждений и экспериментальных фактов.

Кристалл-увеличитель толстый и идеальный. Следовательно, поле, имеющее большой коэффициент поглощения, полностью исчезает внутри кристалла. Распределение поля, период которого равен расстоянию между отражающими плоскостями, вне кристалла не сохраняется. Так как экспериментально доказано, что кристалл-увеличитель совершенный (на его топограмме не

наблюдаются изображения дефектов), можно констатировать, что он не меняет распределение интенсивности в пучке, проходящем через него, а только уменьшает общую интенсивность, не изменяя интерференционной картины. Действительно, картины, приведенные на рис. 6б и 6в, отличаются только размерами в плоскости рассеяния. Следовательно, кристалл-увеличитель новой информации в интерференционную картину не вносит, а только увеличивает ее угловые размеры. Рост периода полос происходит в направлении вектора дифракции и носит дифракционный характер.

Как видно из выражения (7), с расширением толстого блока (t) коэффициент увеличения (M) растет, а с ростом суммарной толщины блоков трехблочного интерферометра ($t_1 + t_2 + t_3$) этот параметр уменьшается, стремясь к единице. При достаточно большой сумме толщин блоков интерферометра четвертый (толстый) блок больше не играет роли увеличителя, так как в этом случае происходит самоувеличение, и тонкая структура интерференционных картин наблюдается без дополнительного увеличителя (четвертого толстого блока).

ВЫВОДЫ

Анализируя полученные экспериментальные результаты и теоретические данные, можно установить, что тонкие структуры интерференционных картин, полученные от трехблочных дефокусированных интерферометров, наблюдаются в тех случаях, когда применяется увеличитель (четвертый толстый блок). Тонкие структуры интерференционной картины, полученной от трехблочного интерферометра с тонкими блоками, можно наблюдать или с помощью увеличения этой картины, или сделав блок-анализатор интерферометра толстым. Увеличение носит дифракционный характер и зависит от относительных толщин увеличителя и суммарной толщины тонких пластин. Коэффициент линейного увеличения можно повысить с помощью более толстого кристалла (увеличителя). Однако чрезмерное увеличение толщины нецелесообразно, так как растет поглощение и падает интенсивность отраженных пучков. Кристалл-увеличитель новой информации в интерференционную картину не вносит, а только увеличивает ее линейный размер в плоскости рассеяния. Чем больше ширина участков наложения, тем больше рост периода полос. Этого можно достичь, увеличивая толщину блоков, однако это усиливает поглощение, что приводит к сужению ширины пучков (сказывается эффекта Бормана).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бушуев В.А., Ингал В.Н., Белявская Е.А. // Кристаллография. 1996. Т. 41. № 5. С. 808.

2. *Аладжаджян Г.М., Кочарян А.К., Труни К.Г.* // Кристаллография 1979. Т. 24. С. 1135.
3. *Bushuev V.A., Sergeev A.A.* // J. Surf. Invest.: X-ray, Synchrotron, Neutron Tech. 2001. V. 16. P. 1429.
4. *Bezirganyan P.H., Drmeyan H.R., Aladzhadzhyan G.M.* // Phys. Stat. Sol. A. 1979. V. 54. P. 729.
5. *Bonse U., te Kaat E.* // Z. Physik. 1971. V. 243. P. 14. <https://doi.org/10.1007/BF01401026>
6. *Drmeyan H.R., Bezirganyan P.H.* // Phys. Stat. Sol. A. 1985. V. 91. P. 379.
7. *Eyratjyan T.H., Mnatsakanyan T.S., Balyan M.K.* // Acta Crystallogr. A. 2018. V. 74. P. 595. <https://doi.org/10.1107/S2053273318009889>
8. *Bonse U., Graeff W.* // Topics Appl. Phys. 1977. V. 22. P. 93. <https://www.amazon.com/X-Ray-Optics-Applcations-Applied-Physics/dp/3662309130?asin=3662309130&revisionId=&format=4&depth=1>
9. *Petraschek D., Folk R.* // Phys. Stat. Sol. A. 1976. V. 36. P. 147.
10. *Bonse U., Hart M.* // Z. Physik. 1965. V. 188. P. 154. <https://doi.org/10.1007/BF01339402>
11. *Gasparyan L.G., Bezirganyan P.H., Mkrtychyan V.P., Trouni K.G., Toneyan A.G.* // Phys. Stat. Sol. A. 1991. V. 123. Iss. 1. P. 77. <https://doi.org/10.1002/pssa.2211230106>
12. *Su R., Thomas M., Leach R., Coupland J.* // Optics Lett. 2018. V. 43. Iss. 1. P. 82. <https://doi.org/10.1364/OL.43.000082>
13. *Shvyd'ko Yu.V., Lerche M., Wille H.-C., Gerdau E., Lucht M., Ruter H.D.* // Phys. Rev. Lett. 2003. V. 90. P. 014302. <https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.90.013904>
14. *Sasso C.P., Manaa G., Massaa E.* // J. Appl. Crystallogr. 2021. V. 54. P. 1403. <https://doi.org/10.1107/S1600576721007962>
15. *Momose A.* // Opt. Express. 2003. V. 11. № 19. P. 2303. <https://doi.org/10.1364/OE.11.002303>
16. *Lwin T.-T., Yoneyama A., Maruyama H., Takeda T.* // Technol. Cancer Res. Treatment. 2021. V. 20. P. 1. <https://doi.org/10.1177/15330338211010121>
17. *Lider V.V.* // Phys. Solid State. 2021. V. 63. № 2. P. 189. <https://doi.org/10.1134/S1063783421020141>
18. *Nsofini J., Sarenac D., Cory D.G., Pushin D.A.* // Phys. Rev. A. 2019. V. 99. P. 043614. <https://doi.org/10.1103/PhysRevA.99.043614>
19. *Chistiakov S.G., Filatov N.A., Kocharyan V.R., Gogolev A.S., Rukavishnikov V.S.* // J. Contemporary Phys. (Armenian Academy of Sciences). 2019. V. 54. P. 381. <https://doi.org/10.3103/S106833721904008X>
20. А.с. 720349 (СССР). Способ дифракционной микрорентгенографии. / Ереванский государственный университет. Безирганян П.А., Дрмеян Г.Р., Эйрамджян Ф.О. // Б.И. 1980. № 9.
21. А.с. 720350 (СССР). Рентгеновский интерферометр. / Ереванский государственный университет. Безирганян П.А., Дрмеян Г.Р., Эйрамджян Ф.О. // Б.И. 1980. № 9.
22. А.с. 817552 (СССР). Способ дифракционной микрорентгенографии монокристаллов. / Ереванский государственный университет. Безирганян П.А., Дрмеян Г.Р. // Б.И. 1981. № 12.
23. *Дрмеян Г.Р.* // Изв. НАН Армении и ГИУ Армении. 2003. Т. 56. № 3. С. 394.
24. *Drmeyan H.R.* // J. Surf. Invest.: X-ray, Synchrotron Neutron Tech. 2022. V. 16. № 4. P. 647. <https://doi.org/10.1134/S1027451022040255>
25. *Authier A.* // Acta Geologica et Geographica Universitatis Comenianae: Geologica. 1968. V. 14. P. 37.
26. *Takagi S.* // Acta Crystallogr. 1962. V. 15. P. 1311. <https://doi.org/10.1107/S0365110X62003473>
27. *Борн М., Вольф Э.* Основы оптики. М.: Наука, 1970. 721 с.
28. *Свешников А.Г., Тихонов А.Н.* Теория функции комплексной переменной. М.: Наука, 1967. 321 с.

Investigation of the Effect of Defocusing on Interference Patterns Obtained in X-Ray Three-Block Interferometers

H. R. Drmeyan^{1,*}, M. S. Vasilyan¹

¹*Institute of Applied Problems of Physics NAS of the Republic of Armenia, Yerevan, 0014 Armenia*

**e-mail: drm-henrik@mail.ru*

The results of studying the effect of defocusing on interference patterns obtained in X-ray three-block interferometers are presented. Three-block defocused interferometers without a thick block analyzer, with a thick block analyzer and with a separate thick block (enlarger) are designed, manufactured and tested. It is shown that fine structures of interference patterns obtained from three-block defocused interferometers are observed in cases when the interferometer analyzer block is thick or an enlarger is used (fourth thick block). Theoretical calculations show that in the presence of defocusing, as a result of superposition of beams on the input surface of the interferometer analyzer, an interference pattern is formed in the form of parallel fringes (lines) lying in the scattering plane. The coordinates of the maxima of the interference fringes (lines) and the period of the fringes are calculated in the cases without a thick crystal and in its presence, as well as the magnification factor. It has been experimentally proved that a thick crystal (enlarger crystal) does not introduce new information into the interference pattern, but only increases its size in the scattering plane.

Keywords: interferometer, defocusing, displacement band, fine structure, magnifier crystal.