

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ РЕНТГЕНОВСКИХ ИНТЕРФЕРЕНЦИОННЫХ КАРТИН I

Ф. О. ЭЙРАМДЖЯН, М. А. МЕЛИКЯН, П. А. БЕЗИРГАНЯН

Работа посвящена изучению зависимости рентгено-интерферометрических картин от различных факторов.

В связи с развитием рентгеновской интерферометрии интерпретация интерференционных картин приобретает важное значение.

Как известно, в течение последних 5—6 лет рентгеновская интерферометрия развивается достаточно быстрыми темпами [1—9]. Осуществлены различные варианты интерферометров. Получены и расшифрованы различные интерференционные картины от этих интерферометров. На основе динамической теории интерференции рентгеновых лучей теоретически определены оптимальные размеры плеч (расстояние блоков друг от друга) интерферометров. Получены интерференционные картины от клинов и сегментов. Интерферометрически определены показатели преломления рентгеновых лучей для нескольких веществ.

Однако необходимо подчеркнуть, что несмотря на большие успехи в области теоретического определения распределения интенсивности в рентгеновских интерференционных картинах, интерпретация в эксперименте полученных интерференционных картин пока еще не отличается однозначностью и строгостью.

Интерпретация на практике полученных многообразных интерференционных картин затрудняется тем, что:

1. Роли не всех факторов, влияющих на распределение интенсивности в интерференционных картинах, известны.

2. Часто не известны результирующие действия одновременно действующих нескольких факторов, когда действие в отдельности каждого из них хорошо известно.

Поэтому не все интерференционные картины интерпретируются, а иногда даже действия одних факторов приписывают другим. В частности, иногда муаровые картины путают с картинами, предусматриваемыми результатами маятникового решения основных уравнений динамической теории интерференции рентгеновых лучей (Pendellösung).

Нами предприняты систематические исследования влияния различных факторов на распределение интенсивности в интерференционных картинах, полученных с помощью рентгеновских интерферометров.

В предлагаемой работе приводится только часть этих исследований. В данной работе исследовано влияние на интерференционную картину механической и тепловой обработки интерферометра, травки бло-

ков интерферометра, клина и пластинки, установленных на пути лучей, и длины волны.

Методика исследований

Для исследования были изготовлены пять одинаковых Ш-образных интерферометров из почти бездислокационного монокристалла кремния. Вид этих интерферометров и ход лучей в них показаны на рис. 1. Эти интерферометры были изготовлены так и с такой точностью, как это описано в [9].

От всех этих интерферометров были получены интерференционные картины с помощью камеры КРС (камера Ланга—Миускова) (см. рис. 2) на установке УРС-60 (трубка БСВ-8). Интерференционные картины были получены после каждой из последующих процедур: после механической полировки, травления и термической обработки (отжига) интерферометра. Интерференционные картины были получены также при различных излу-

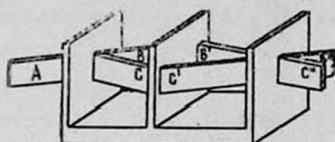


Рис. 1. Ход лучей в интерферометре.

Рис. 2. Интерферометр с камерой КРС.

чениях ($\text{Cu } K_{\alpha}$ и $\text{Ni } K_{\alpha}$) внесением на пути луча в интерферометре клинов с различными преломляющими углами и плоскопараллельной пластинки. Чтобы выяснить характер полученных интерференционных картин, были сделаны снимки и от различных частей интерферометра с ограничением пучков после второго блока интерферометра (см. рис. 3).

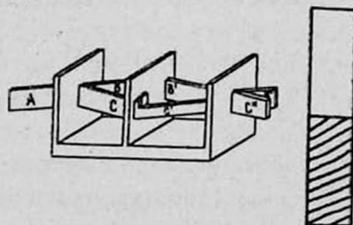


Рис. 3. Часть пучка задержана.

I. Интерференционная картина после полировки и травления

Первым долгом мы исследовали влияние травления блоков интерферометра на интерференционную картину. Для этого были сделаны снимки этой картины от каждого интерферометра при их полирован-

ных, но не травленных блоках и при травленных блоках. Причем последние два снимка были получены после 30-секундных и 60-секундных травлений соответственно. Фотоснимки этих интерференционных картин для одного из интерферометров приведены на рисунках 4а, б, в. Рис. 4а показывает картину, полученную от интерферометра с полированными но не травленными блоками, а 4б и 4в после 30- и 60-секундного травления соответственно. Как показывают эти рисунки, на картинах полированных, но не травленных блоков муаровой картины нет, а на картинах травленных блоков муаровые полосы тем отчетливее, чем дольше травлены блоки. Это объясняется тем, что механическая обработка (полировка) поверхностей блоков нарушает их кристаллическую решетку гораздо больше, чем нарушения, вызывающие муаровые картины. При травлении поверхностные искаженные части снимаются, а объемные дефекты — незначительные повороты решетки отдельных частей блоков друг относительно друга и незначительные различия постоянных решетки, остаются, чем и объясняется появление муаровых картин. Таким образом, в первом случае муаровые полосы маскируются эффектами более грубых нарушений. С увеличением дли-

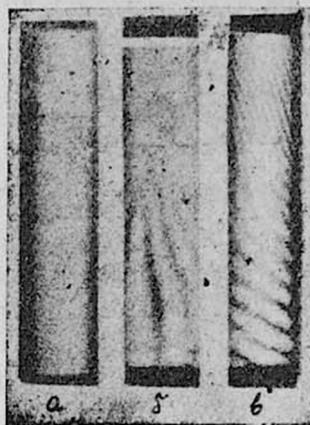


Рис. 4. а — без травления, б — время травления 30 секунд, в — время травления 60 сек.



Рис. 5. а — до отжига, б — после отжига.

тельности травления повышается четкость муаровых картин. Это объясняется тем, что при 30-секундном травлении не все нарушенные части были сняты с поверхностей блоков интерферометра.

II. Интерференционная картина после отжига интерферометра

Для исследования влияния отжига интерферометров на интерференционные картины, полученные от них, мы снимали эти интерференционные картины до и после их отжига (см. рис. 5а и 5б).

Отжиг травленных интерферометров был произведен в условиях

высокого вакуума (10^{-5} мм рт. ст.) при температуре 500°C в течение четырех часов с последующим медленным охлаждением в течение девяти часов.

Интерференционные картины одного из интерферометров приведены на рис. 5. Причем (5а) — картина до отжига, а (5б) — после отжига. Как видно из этих снимков, отжиг уменьшил период муаровых картин, что является результатом увеличения поворотов и сдвигов различных частей блоков интерферометра друг относительно друга. На первый взгляд это может показаться неправдоподобным, так как отжиг, снимая напряжения, увеличивает, а не уменьшает совершенство кристаллов. Однако более детальное исследование показывает, что это не так. Действительно, при изготовлении Ш-образного интерферометра из одного и того же куска кристалла возникают напряжения как между блоками и общим основанием этих блоков, так и между различными частями одного и того же блока. Поэтому, при отжиге, во-первых, когда снимаются напряжения между блоками и их основанием, могут происходить повороты блоков интерферометра относительно своих оснований и, во-вторых, когда снимаются напряжения между отдельными частями данного блока, несомненно, эти отдельные части становятся более совершенными, но могут поворачиваться друг относительно друга — происходит блокообразование внутри данного блока интерферометра. Иначе говоря, когда существуют непрерывные напряженные состояния внутри данного блока интерферометра, повороты отдельных частей этого же блока друг относительно друга ограничиваются этими напряжениями.

При отжиге напряжения снимаются, сосредотачиваясь между совершенными частями блока интерферометра, и тогда эти части (блоки в блоке интерферометра) могут поворачиваться друг относительно друга, что наблюдается на эксперименте.

III. Влияния клина и пластинки на интерференционную картину интерферометра

Для исследования влияния клина и плоскопараллельной пластинки на интерференционную картину интерферометра нами были получены снимки этих картин без клина, без пластинки и при них.

Клин был вставлен перед лучом так, как показано на рисунках ба, бб и бв. На рис. ба показаны блоки интерферометра и расположение клина после второго блока. На рис. бб и бв показан вид сверху, где видны вертикальные проекции клина. Причем, бб и бв отличаются тем, что во втором случае клин повернут на 180° вокруг вертикальной оси. На рис. 7а, 7б и 7в показаны снимки интерференционных картин без клина (7а) и с клинами с соответствующими расположениями бб и бв.

Как видно из этих рисунков, расположение бб увеличивает наклон муаровых картин и уменьшает расстояние между ними, т. е. увеличивает разности фаз между лучами верхнего и нижнего пучков.

Расположение бв уменьшает наклон муаровых картин и увеличивает расстояние между ними, т. е. уменьшает разности фаз между лучами верхнего и нижнего пучков. Это будет понятно, если иметь в виду, что в расположении бб преломляющий угол клина направлен во внутрь интерферометра и наружные лучи пучка в среде клина проходят путь больший, чем внутренние лучи дан-

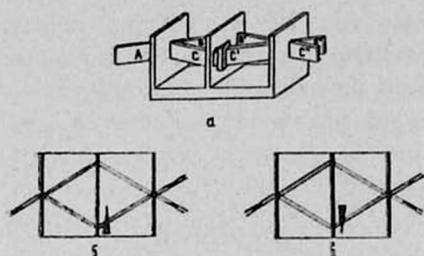


Рис. 6. Интерферометр с клином.



Рис. 7. Снимки без клина (а) и с клиньями (б, в).

ного пучка. А в расположении бв наоборот, в среде пути наружных лучей меньше, чем пути внутренних лучей.

Для большей наглядности на рис. 8а и б показан случай, когда пучок не полностью проходит через клин. Как видно из рисунка 8б, частота и наклон муаровых картин в одной части рисунка не изменены, а в другой изменены, соответственно свободно и через клин проходящим частям пучка.

Для исследования влияния плоскопараллельной пластинки на интерференцию, в качестве эталона был сделан снимок при расположении пластинки, показанной на рис. 9. Снимок, соответствующий этому рас-

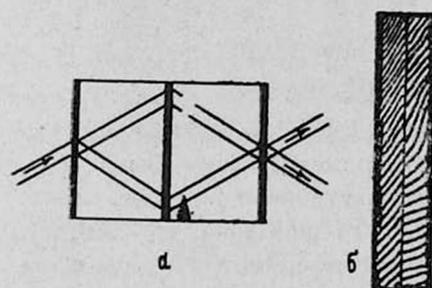


Рис. 8. Часть пучка проходит через клин.

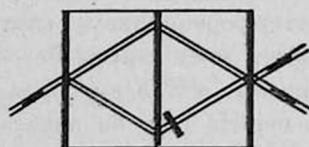


Рис. 9. Интерферометр с пластинкой.

положению, приведен на рис. 10а, а на рис. 10б приведена картина без пластинки.

Как видно из этих рисунков, плоскопараллельная пластинка не меняет ни частоту, ни наклон муаровых картин. Плоскопараллельная пластинка только смещает муаровые полосы параллельно самим себе. Объясняется тем, что плоскопараллельная пластинка внутри дан-

ного пучка между различными лучами не вызывает добавочные разности фаз, чем и объясняется неизменность наклона и частоты муаровых картин.

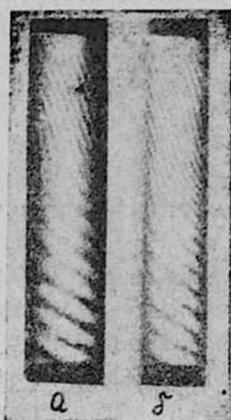


Рис. 10. Снимки с пластинкой (а) и без пластинки (б).



Рис. 11. Снимки с излучением Cu K_α (а) и Ni K_α (б).

Параллельное смещение муаровых картин объясняется тем, что из-за пластинки возникают разности фаз между пучками А и В. Эта разность фаз одинакова для всех соответствующих лучей пучков А и В.

IV. Влияние длины волны на интерференционную картину интерферометра

Для исследования интерференционной картины интерферометра в зависимости от длины волны, как уже сказано, мы применяли излучения Cu K_α и Ni K_α . Снимки интерференционных картин этих излучений приведены на рис. 11а и 11б соответственно. Как видно из этих снимков, с увеличением длины волны плотность муаровых полос увеличивается, расстояние между соседними линиями уменьшается. Кажется бы это противоречит ожидаемому: с увеличением длины волны расстояние между муаровыми полосами должно увеличиваться. Однако более детальное исследование показывает, что это не так и с увеличением длины волны муаровая картина должна становиться мельче.

Действительно, как известно, дифракция под большими углами более чувствительна к структурным нарушениям, чем под малыми, одни и те же структурные несовершенства под большими углами дифракции вызывают сравнительно большие разности фаз, чем под малыми углами. С другой стороны, если разность фаз от точки к точке быстро меняется (градиент фаз большой), то ясно, что частота дифракционных полос увеличивается, и расстояние между ними уменьшается.

Точнее говоря, в рассматриваемом случае существуют два фактора с противоположными действиями. С одной стороны, увеличение длины волны увеличивает расстояние между муаровыми полосами, а с другой стороны, увеличение угла дифракции уменьшает это расстояние. Однако нетрудно убедиться в том, что влияние второго эффекта гораздо больше первого, и поэтому с увеличением длины волны расстояние между муаровыми полосами фактически уменьшается.

В ы в о д ы

Из результатов изложенных экспериментальных исследований можно сделать следующие выводы:

1. Для получения интерференционной картины и для увеличения разрешения интерферометра необходимо его блоки после тщательной механической полировки травить (химическая полировка).

2. Не рекомендуется готовый интерферометр подвергать термической обработке. Из-за такой обработки блоки интерферометра могут повернуться относительно своего общего основания и могут образоваться новые блоки в блоках интерферометра. Очевидно, что эти эффекты уменьшают разрешение интерферометра.

3. Пользуясь изменениями интерференционной картины, вносимыми клином и плоскопараллельной пластинкой, можно определить показатели преломления веществ клина и плоскопараллельной пластинки. Притом, для определения показателя преломления рационален метод, когда не весь пучок проходит через клин или пластинку (см. рис. 8а, 8б).

4. С увеличением длины рентгеновской волны расстояния между муаровыми полосами уменьшаются, следовательно, с увеличением длины волны чувствительность прибора относительно дефектов увеличивается.

Ереванский государственный университет

Поступила 31.XII.1970

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. *U. Bonse and M. Hart*, Appl. Phys. letters, 6, 8 (1965).
2. *U. Bonse and M. Hart*, Appl. Phys. letters, 7, 4 (1965).
3. *U. Bonse and M. Hart*, Z. für Physik, 188, 154 (1965).
4. *U. Bonse and M. Hart*, Z. für Physik, 190, 455 (1966).
5. *U. Bonse and M. Hart*, Z. für Physik, 194, 1 (1966).
6. *U. Bonse and M. Hart*, Acta Cryst., A24, 240 (1968).
7. *U. Bonse and E. te Katt*, Z. für Physik, 214, 16 (1968).
8. *U. Bonse and H. Hellkötter*, Z. für Physik, 223, 345 (1969).
9. *Ф. О. Эйрамджян, П. А. Безирянян*, Изв. АН АрмССР, Физика, 5, 453 (1970).

ՌԵՆՏԳԵՆՅԱՆ ԻՆՏԵՐՖԵՐԵՆՑԻՈՆ ՊԱՏԿԵՐՆԵՐԻ
ՓՈՐՁՆԱԿԱՆ ՈՒՍՈՒՄՆԱՍԻՐՈՒԹՅՈՒՆԸ

Ֆ. Հ. ԷՅՐԱՄՉՅԱՆ, Մ. Ա. ՄԵԼԻԿՅԱՆ, Պ. Հ. ԲԵՋԻՐԳՅԱՆ

Ուսումնասիրվել է ունեղենյան ինտերֆերոմետրից ստացված ինտերֆերենցիոն պատկերի կախվածությունը կերպրածման աստիճանից, շերտային մշակումից (թրճաթողում), ճառագայթման տեսակից (ալիբի երկարությունից), ինչպես նաև ճառագայթներից մեկի ճանապարհին սեպի կամ հարթ-դուզան բիթեղի առկայությունից:

AN EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF X-RAY
INTERFERENCE PATTERNS

F. H. EIRAMJIAN, M. A. MELIKIAN, P. H. BEZIRGANIAN

The dependence of X-ray interference patterns from an X-ray interferometer on the degree of chemical polishing, the annealing, the wave-length of X-rays and the presence of a wedge or a plate on the way of one of the rays is studied.