ISSN 0002-306Х. Изв. НАН РА и ГИУА. Сер. ТН. 2005. Т. LVIII, № 1.

УДК 548.73.2

МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

Г. Р. ДРМЕЯН

НОВЫЙ РЕНТГЕНОИНТЕРФЕРОМЕТРИЧЕСКИЙ МЕТОД ИССЛЕДОВАНИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ НЕСОВЕРШЕНСТВ В МАТЕРИАЛАХ

На основе кратных рентгеновских интерферометров предложен и опробован способ исследования полей деформации кристаллов. Показано, что двукратный рентгеновский интерферометр позволяет выявить линии сегрегации, полосы смещения и муаровые картины, обусловленные несовершенствами исследуемых кристаллических материалов.

Ключевые слова: муаровые топограммы, двукратный интерферометр, поле деформации кристаллов.

Основная задача рентгеноинтерферометрических методов исследования несовершенств кристаллических материалов сводится к получению интер-ферометрических дифракционных изображений несовершенств кристаллов с большим разрешением и их однозначной интерпретации. Следовательно, для повышения эффективности исследований необходимо разработать новые методы, облегчающие расшифровку дифракционных картин. С этой целью в настоящей работе приводятся результаты стереометрических исследований несовершенств кристаллов с применением кратных интерферометров [1]. Кратность интерферометра определяется числом семейств отражающих плоскостей, принадлежащих одному и тому же комплексу симметрично эквивалентных плоскостей.

Очевидно, что интерферограммы, полученные от одного семейства отражающих плоскостей, не дают полной картины несовершенств исследуемого кристалла. Поэтому для более полного описания деформированного состояния кристаллов необходимо получить дефектограмму от одного и того же кристалла с помощью хотя бы двух или трех семейств плоскостей, отличающихся ориентациями. Итак, возникает острая необходимость разработки рентгеновской дифракционной стереометрической интерферографии несовершенств монокристаллов.

Известны различные рентгеноинтерферометрические способы исследования несовершенств кристаллов [2, 3]. Во всех этих работах использованы одинарные интерферометры – одно семейство отражающих плоскостей.

Интерферометрическое изображение несовершенств кристаллов в основном исследуется с помощью муаровых картин [4-6], возникающих в результате относительных различий в ориентациях и межплоскостных расстояниях частей кристаллов, через которые проходят интерферируемые волны, которые существенно зависят от ориентации отражающих плоскостей. Следовательно, картины, полученные от одного и того же интерферометра

при использовании различных семейств плоскостей, имеющих разные ориентации, в общем случае должны отличаться друг от друга.

Так как муаровые картины представляют собой интерференционные узоры, вызванные полем деформации нарушений кристаллической решетки, то они дают возможность судить о них. Действительно, как известно, дифракционные изображения фактически являются картинами таких дефектов (или их частей), которые приводят к смещениям в направлении нормалей отражающих плоскостей. Другими словами, рентгеновские рефлексы реагируют на структурные дефекты только в том случае, когда деформационные сдвиги атомов, вызванные этими дефектами, перпендикулярны к атомным плоскостям, отражением от которых образуется данный рефлекс.

Ясно, что однозначная интерпретация изображения дефектов значительно облегчается, когда рентгенограммы получены симметричным отражением от семейств, имеющих одинаковые межплоскостные расстояния, т. е. принадлежащих одной и той же совокупности плоскостей – комплексу симметрично – эквивалентных плоскостей.

Нами предложен новый рентгеноинтерферометрический способ, более полно описывающий поля деформации кристаллов. Указанная цель достига-ется с помощью кратных интерферометров.

Проведены исследования несовершенств кристаллов двухкристального и трехкристального двукратных интерферометров (рис.1 а и б). Двухкристальный двукратный интерферометр состоит из двух параллелепипедальных блоков, разделенных воздушным зазором. Толщины блоков (равные 4,5 *мм*) таковы, что при этих значениях в кристалле кремния имеет место бормановское аномальное поглощение МоК_а излучения. Ширина зазора – 300 *мкм*.



Рис. 1. Двукратные интерферометры: а – двухкристальный, б – трехкристальный



Рис. 2. Интерферограммы от двукратного двухкристального интерферометра: а – отражение (220), 6 – отражение (220)

Как видно из рис. 1а и б, семейства сильно отражающих плоскостей (110) и (110) перпендикулярны друг другу, что создает условия для получения совершенно одинаковых интерференционных картин от двукратных двух- и трехкристального интерферометров. Это достигается только в случае, если блоки интерферометра являются почти идеальными кристаллами. Если же блоки (или исследуемый кристалл) содержат дефекты, ориентация которых относительно отражающих плоскостей разных семейств двукратного

интерферометра разная, то картины этих интерферометров будут отличаться, что даст возможность судить о пространственной ориентации дефектов и распределении деформации, вызванных этими дефектами.

На рис. 2а и б показаны интерферограммы, полученные от двукратного двухкристального интерферометра с отражениями (220) и ($2\overline{2}0$). Как видно, отражение (220) в двукратном двухкристальном интерферометре обнаруживает только линии смещения (рис. 2а), а отражение ($2\overline{2}0$) - как линии смещения, так и линии сегрегации. На рис. 26 картина получена в результате интерференционного наложения линий смещения и сегрегации. Как видно, при отражении от плоскостей (110) линии сегрегации не получаются, а от плоскостей ($1\overline{1}0$) – наоборот, следовательно, во–первых, дифракционный вектор отражения ($2\overline{2}0$) параллелен оси роста кристалла, а дифракционный вектор отражения ($2\overline{2}0$) перпендикулярен к этой оси и, во–вторых, в кристаллах интерферометра в областях сегрегации выделения отсутствуют.

Для экспериментального исследования зависимости периодов муаровых картин (изображения несовершенств) от ориентации отражающих плоскостей были изготовлены специальные интерферометры, с помощью которых нами получены муаровые картины от отражающих плоскостей (110) и (110).



Рис. 3. Схема интерферометра и ход лучей в нем: а - муаровая топограмма при отражении 220, б - муаровая топограмма при отражении (220)

Один из этих интерферометров показан на рис. З. Как видно из рисунка, плоскости (110) перпендикулярны к большим поверхностям интерферометра и параллельны основанию интерферометра, а плоскости $(1\overline{1}0)$ перпендикулярны как к большим поверхностям, так и к основанию интерферометра. Муаровые картины, полученные с помощью этого интерферометра от плоскостей $(1\overline{1}0)$ и (110) с использованием вторых порядков отражений, приведены на рис. З а и З б соответственно. Как видно из этих рисунков, муаровые картины, полученные от одного и того же интерферометра, но с разными семействами отражающих плоскостей, совершенно не похожи друг на друга, что и можно было ожидать. При этом необходимо обратить внимание на следующие обстоятельства: вначале снимались муаровые топограммы для отражения (220) (рис. За), а для отражения (220) интерферометр поворачивался относительно оси [001] на 90°. Однако при этом муаровая картина не получалась. Это объясняется тем, что под действием силы тяжести блоки интерферометра деформируются, следовательно,

или нарушается "условие идеальной геометрии" (равенство межблочных растояний), или получаются муаровые узоры, периоды которых меньше величины зерен регистрирующей рентгеновской пленки (RM-1). Поэтому рентгенодифракционная камера поворачивалась на 90°, а интерферометр поворачивался в противоположном направлении на тот же угол, как это показано на рис 4.



Рис. 4. Схема эксперимента для получения муаровых топограмм от отражения (220): 1 и 2 - лимбы рентгенодифракционной камеры КРС, 3 – гониометрическая головка, 4-держатель гониометрической головки, 5-интерферометр, 6-столик, 7рентгеновский пучок, 8-коллиматор, 9детектор

Тогда блоки интерферометра устанавливаются вертикально, и если при отражении $(2\overline{2}0)$ направление сканирования было горизонтальным, то при (220) оно вертикально. При таком расположении камеры с интерферометром получалась муаровая топограмма, показанная на рис. Зб. Снимались муаровые топограммы (рис. За и б) со сканированием интерферометра. Микрофотометрирование картин показало, что контраст муаровых картин, полученных с помощью плоскостей $(1\overline{1}0)$, лучше, чем от плоскостей (110). Это, видимо, объясняется тем, что при плоскостях $(1\overline{1}0)$ интерферируют друг с другом лучи, проходящие через блоки на одинаковых высотах от основания, и так как состояние напряженности блоков меняется по высоте, то в этом случае интерферируют волны, содержащие почти одинаковые информации о деформациях. В случае же плоскостей (110) это условие нарушается, и поэтому контраст муаровых картин падает.

Таким образом, из наших экспериментов вытекает:

- в случае, когда блоки интерферометра вертикальны и отражающие плоскости перпендикулярны к основанию интерферометра, муаровые картины получаются с большим контрастом;

- интерферометрические топографические картины зависят от ориентации отражающих плоскостей.

На рис. 3 а и б показаны топографические интерферограммы, полученные от двукратного трехкристального интерферометра отражениями (220) и (220).

Детальное исследование этих снимков позволяет сделать следующие выводы:

- на рис. За (отражение 220) видна интерферометрическая муаровая картина поля деформации дислокации, а на рис. З б (отражение 220) - картина,

полученная в результате когерентного наложения линий сегрегации и муара дислокации;

- интерферометрические топограммы, приведенные на рис. За и б, показывают, что распределения деформаций, вызванных линией дислокации, расположенной в кристалле двукратного трехкристального интерферометра, отличаются друг от друга – зависят от ориентации семейств симметрично эквивалентных плоскостей относительно линии дислокации. Это является экспериментальным доказательством того, что интерферометрические картины, полученные от одного и того же кристалла с помощью семейств симметрично эквивалентных плоскостей, будут одинаковыми только в том случае, когда кристаллы интерферометра идеальны. Действительно, при получении топограмм от отдельных кристаллов (блоков) двукратного трехкристального интерферометра в первом кристалле выявилась дислокация.

Таким образом, одним и тем же двукратным интерферометром можно обнаружить и линии сегрегации, и полосы смещения, и муаровые картины различных несовершенств.

Для более полного описания дефектной структуры необходимо увеличить кратность интерферометра - увеличить число семейств отражающих плоскостей, принадлежащих одному и тому же комплексу симметрично эквивалентных плоскостей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Абоян А. О., Хзарджян А. А., Сафарян М. А. Кратные интерферометры // Тез. докл. III совещ. по Всес. прогр. "Рентген". - Черновцы, 1989. - С. 106.
- 2. Aboyan A. O., Tumasyan A. S. Gryst. Res. Technol. 1990. V. 25. P. 1210-1214.
- Gasparyan L. G., Bezirganyan P. H., Mkrtchyan V. P., Truni K. G., Toneyan A. G. Phys. Stat. Sol. (a). -1991. - V.123. - P. -77-82.
- 4. Christiansen G., Gerward L., Lindegaart A. A. J. Appl. Gryst. -1971. V.4. P. 371.
- 5. Gerward L., Christiansen G., Lindegaart A.A. Physic. Letters. 39 A. P. 63.
- 6. **Абоян А. О.** Известия НАН РА. Физика. 2000. Т.35, ¹ 4. С. 212-219.

Гюмр. пед. ин-т. Материал поступил в редакцию 12.02.2004.

. ቢ. ጉርፓይያ ሀኒ

ՆՅՈՒԹԵՐՈՒՄ ԱՆԿԱՏԱՐՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ՊԱՏԿԵՐՆԵՐԻ ՈՒՍՈՒՄՆԱՍԻՈՒԹՅՎՈՆՆՈ ՌԵՆՏԳԵՆՈՒՆՅԵՐՈԵՄ ՆՐՈՅԺՄ ԻԿԴՏԵՄՈՆՅԵՐՈ

Ռենտգենյան բազմապատիկ ինտերֆերոմետրերի հիման վրա առաջարկվել և փորձարկվել է բյուրեղների մեջ դեֆորմացիոն դաշտերի ուսումնասիրության նոր եղանակ։ Ցույց է տրվել, որ կրկնապատիկ ռենտգենյան ինտերֆերոմետրը թույլ է տալիս բացահայտել ուսումնասիրվող բյուրեղական նյութերի անկատարելություններով պայմանավորված անմիասեռության և շեղման գծերը, մուարի պատկերները։

H.R. DRMEYAN

A NEW X-RAY INTERFEROMETRIC METHOD FOR INVESTIGATION OF IMPERFECTION IMAGES IN MATERIALS

A method for investigation of deformation fields in crystals based on multiple X-ray interferometers is suggested and tested. It is shown that a double X-ray interferometer permits to reveal segregation lines, shift bands and Moire patterns arising due to imperfections of crystalline materials under investigation.