

УДК 537. 531

А.О. АБОЯН, А.А. ХЗАРДЖЯН

**ИССЛЕДОВАНИЕ НЕСОВЕРШЕНСТВ КРИСТАЛЛОВ КРАТНЫМИ
ИНТЕРФЕРОМЕТРАМИ**

Проведены стереометрические исследования несовершенств кристаллов с применением кратных интерферометров. Показаны недостатки обычных рентгенодифракционных и рентгеноинтерферометрических методов исследования несовершенств кристаллов. Предлагается совершенный метод стереометрической топографии с целью выявления дефектов в монокристаллах. Экспериментально показано, что кратными интерферометрами можно обнаружить и линии сегрегации, и полосы смещения, и муаровые картины различных несовершенств.

Ключевые слова: ротационный, дилатационный и смешанные рентгеновские муары, двукратные двух- и трехкристальный интерферометры, линии сегрегации, линии смещения.

Введение. Основная задача рентгеноинтерферометрических методов исследования несовершенств кристаллов сводится к получению интерферометрических дифракционных изображений несовершенств кристаллов с большим разрешением и их однозначной интерпретации.

Если на первых порах изображения рентгеновских интерферометров получили достаточно широкое применение, то в последнее время такого большого интереса к этим исследованиям не наблюдается. Дело в том, что из-за большой чувствительности рентгеноинтерферометрических дифракционных картин ко всяким незначительным деформациям кристаллической решетки эти картины сильно осложняются, и поэтому их однозначные интерпретации порой чрезмерно затрудняются.

Следовательно, для повышения эффективности интерферометрических исследований несовершенств кристаллов необходимо разработать новые методы, которые облегчили бы расшифровку дифракционных картин, т.е. позволили бы получить поддающиеся расшифровке дифракционные картины.

С этой целью проведены стереометрические исследования несовершенств кристаллов с применением кратных интерферометров.

1. Рентгеновская дифракционная стереометрическая топография несовершенств монокристаллов. Показаны недостатки рентгенодифракцион-

ных и рентгеноинтерферометрических топограмм несовершенств кристаллов. Вопрос решен с помощью симметрично эквивалентных семейств отражающих плоскостей в кратных интерферометрах.

Обычные рентгеновские дифракционные проекционные топограммы несовершенств кристаллов имеют существенные недостатки.

Топограммы и 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 плоскостных семейств, отличающихся ориентациями.

Для более или менее полного решения вопроса необходимо воспользоваться симметрично эквивалентными семействами отражающих плоскостей, составляющими между собой сравнительно большие углы.

Известны рентгеноинтерферометрические способы исследования несовершенств кристаллов [1-3]. Во всех исследованиях использованы одинарные интерферометры - одно семейство отражающих плоскостей. В таких интерферометрах, как правило, только одно семейство сильно отражающих плоскостей, принадлежащих одному и тому же комплексу симметрично эквивалентных плоскостей и удобно расположенных (ориентированных) для отражения, поэтому интерферограммы, полученные от этих интерферометров, не дают полной картины несовершенств исследуемого кристалла.

Нами предложен новый рентгеноинтерферометрический метод, более полно описывающий поля деформации кристаллов. Цель достигается с помощью кратных интерферометров.

Кратность интерферометра, как увидим ниже, определяется числом семейств отражающих плоскостей, принадлежащих одному и тому же комплексу симметрично эквивалентных плоскостей, удобно расположенных (ориентированных) для получения отражений (см. рис. 1а и б; ба и б).

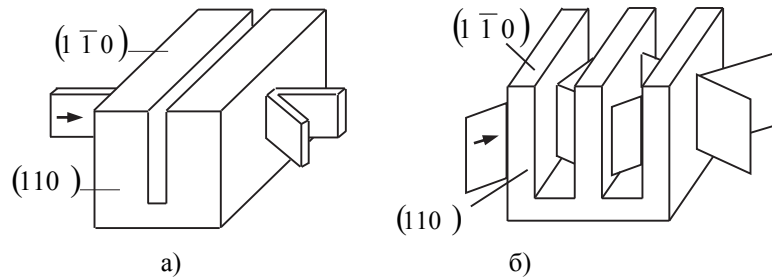


Рис. 1. Двукратные интерферометры:
а – двухкристальный, б - трехкристальный

2. Двукратные двух- и трехкристальный интерферометры. Проведены исследования несовершенств кристаллов двух- и трехкристального двукратных интерферометров. Все экспериментальные исследования проводились на кремниевых образцах. Как видно из формулы в кубической сингонии:

$$\cos \alpha = \frac{h_1 h_2 + k_1 k_2 + l_1 l_2}{\sqrt{h_1^2 + k_1^2 + l_1^2} \sqrt{h_2^2 + k_2^2 + l_2^2}}, \quad (1)$$

угол α между симметрично эквивалентными плоскостями (110) и $(1\bar{1}0)$ равен 90° (удобное сочетание для двукратного интерферометра). Поэтому для достижения нашей цели нами были изготовлены двух- и трехкристальный двукратные интерферометры из кристалла кремния (рис. 1а и б).

Двухкристальный двукратный интерферометр состоит из двух параллелепипедных блоков, разделенных параллелепипедным воздушным зазором. Толщины блоков (равные 4,5 мм) таковы, что при этих значениях в кристалле кремния имеет место бормановское аномальное поглощение MoK_α – излучения. Ширина зазора – 300 мкм.

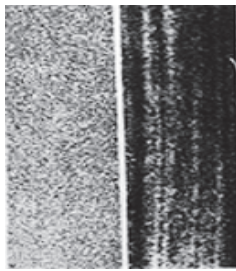
Как видно из рис. 1а и б, семейства сильно отражающих плоскостей (110) и $(1\bar{1}0)$ перпендикулярны друг другу, а размеры интерферометров подобраны так, что удовлетворяются условия отражения 220 и 440. Когда одно из этих семейств приведено в отражающее положение, то для приведения другого семейства в такое же положение необходимо интерферометр повернуть на 90° вокруг оси, перпендикулярной поверхности входа интерферометра.

Таким образом, создаются условия для получения совершенно одинаковых интерференционных картин от двукратных двух- и трехкристального интерферометров.

Конечно, это достигается только в том случае, когда блоки интерферометра- почти идеальные кристаллы. Если же блоки интерферометра (или исследуемый кристалл) содержат дефекты, ориентация которых относительно отражающих плоскостей разных семейств двукратного интерферометра разная, то интерференционные картины этих интерферометров будут отличаться, что даст возможность судить о пространственной ориентации дефектов и распределении деформации, вызванной этими дефектами.

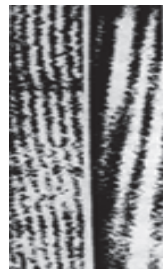
На рис. 2а и б; 3а и б; 4а и б показаны соответственно топограммы и интерферограммы, полученные от одного кристалла, двукратных двухкристального и трехкристального интерферометров с отражениями 220 и $2\bar{2}0$.

Как видно из рис. 2а и б, отражение 220 никаких дефектов не обнаружило (рис. 2а), а отражение $2\bar{2}0$ обнаружило сегрегацию (на рис. 2б получены линии сегрегации). Из рис. 3а видно, что отражение 220 в двукратном двухкристальном интерферометре обнаруживает только линии смещения, а отражение $2\bar{2}0$ - как линии смещения, так и линии сегрегации. На рис. 3б картина получена в результате интерференционного наложения линий смещения и сегрегации. В первом кристалле двукратного трехкристального интерферометра оказалась дислокация, поэтому на рис. 4а (отражение 220) видна интерферометрическая муаровая картина поля деформации дислокации, а на рис. 4 б (отражение $2\bar{2}0$) - картина, полученная в результате когерентного наложения линий сегрегации и муара дислокации.



а) б)

Рис. 2. Топограммы от одного кристалла: а - отражение 220 , б - отражение $2\bar{2}0$



а) б)

Рис. 3. Интерферограммы от двукратного двухкристального интерферометра: а - отражение 220 , б - отражение $2\bar{2}0$

Таким образом, с помощью одного и того же двукратного интерферометра можно обнаружить и линии сегрегации, и полосы смещения, и муаровые картины различных несовершенств.

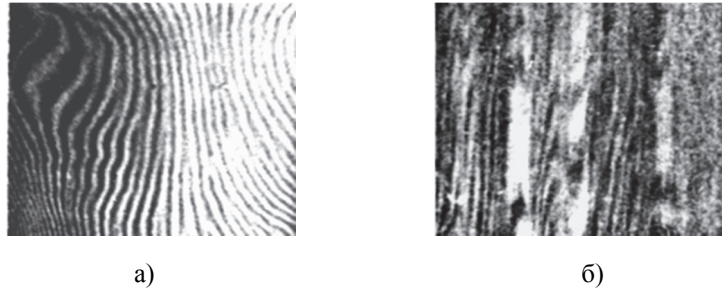


Рис. 4. Интерферометрические топограммы отражения 220 и $2\bar{2}0$:
 а – отражение 220 , б – отражение $2\bar{2}0$

Следовательно, как показано на рисунках, отражением от плоскостей (110) линии сегрегации не получаются, а от плоскостей $(\bar{1}\bar{1}0)$ - получаются, тем самым, во-первых, дифракционный вектор отражения $2\bar{2}0$ параллелен оси роста кристалла, а дифракционный вектор отражения 220 перпендикулярен этой оси; во-вторых, в кристаллах интерферометра в областях сегрегации выделения отсутствуют.

3. Трехкратные двух- и трехкристальный интерферометры. Для более полного описания дефектной структуры необходимо увеличить кратность интерферометра, т.е. увеличить число семейств отражающих плоскостей, принадлежащих одному и тому же комплексу симметрично эквивалентных плоскостей. Как видно из формулы (1) и рис. 5, угол α между $(\bar{1}\bar{1}0)$ и $(0\bar{1}1)$, а также между $(0\bar{1}1)$ и $(\bar{1}01)$ симметрично эквивалентными плоскостями равен 60° (удобное сочетание для трехкратного интерферометра).

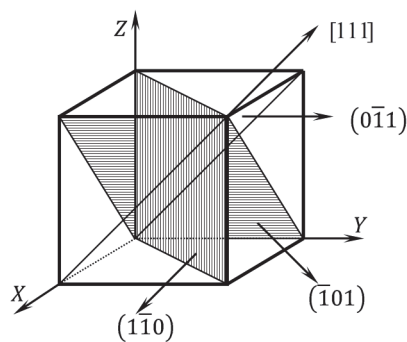


Рис. 5. Ориентация симметрично эквивалентных плоскостей $(\bar{1}\bar{1}0)$, $(\bar{1}01)$, $(0\bar{1}1)$

На рис. 6а и б показаны фотоснимки трехкратных двух- и трехкристальных интерферометров с семействами $(\bar{1}\bar{1}0)$, $(\bar{1}01)$ и $(0\bar{1}1)$.

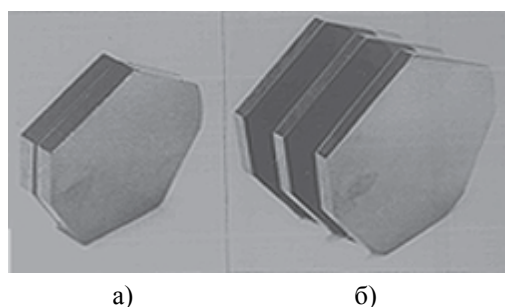
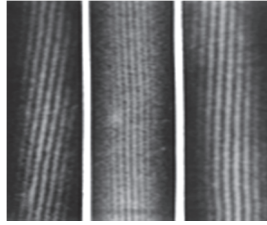


Рис. 6. Фотоснимки трехкратных интерферометров: а – двухкристальный, б - трехкристальный

Для увеличения кратности интерферометра рентгеновские излучения направляют под углом Брэгга на одно из трех семейств отражающих плоскостей трехкратного интерферометра, регистрируют дифрагированное излучение, затем поворотом интерферометра получают интерференционную картину от второго и третьего семейств, повторяют регистрацию излучения и сопоставлением полученных картин судят о несовершенстве структуры.

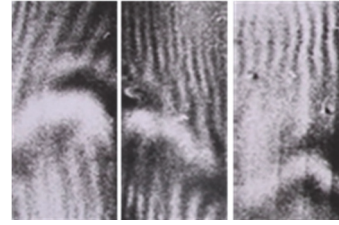
На рис. 7а - в и 8а - в показаны секционные и топографические интерферограммы, полученные соответственно от трехкратного двух- и трехкристального интерферометров отражениями $2\bar{2}0$, $\bar{2}02$ и $0\bar{2}2$ (излучение MoK_{α}).

Детальное исследование этих снимков позволяет сделать следующие выводы: кристаллы двухкристального трехкратного интерферометра не содержат дислокаций - на рентгенограммах (см. рис. 7а-в) получены недеформированные (почти идеальные) линии смещения. На этих секционных интерферограммах не получены и линии сегрегации, так как в рассматриваемых случаях отражений дифракционные векторы не перпендикулярны оси роста кристаллов интерферометра. Интерферометрические топограммы, приведенные на рис. 8а-в, показывают, что распределения деформаций, вызванных линией дислокации, расположенной в первом кристалле трехкратного трехкристального интерферометра, отличаются друг от друга – они зависят от ориентации семейств симметрично эквивалентных плоскостей относительно линии дислокации.



а) б) в)

Рис. 7. Секционные интерферограммы от трехкратного двухкристального интерферометра отражениями $2\bar{2}0$ (а), $\bar{2}02$ (б) и $0\bar{2}2$ (в)



а) б) в)

Рис. 8. Топограммы от трехкратного трехкристального интерферометра отражениями $2\bar{2}0$ (а), $\bar{2}02$ (б) и $0\bar{2}2$ (в)

Это является 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.

Выводы. Экспериментально доказано, что кратными интерферометрами можно обнаружить и линии сегрегации, и полосы смещения, и муаровые картины различных несовершенств.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Bonse U., Hart M.** X-Ray Interferometer // Appl. Phys. Letters.- 1965.-V.6.- P.155-157.
2. **Bonse U., Hart M.** Principles and Design of Laue Case X-Ray Interferometer // Z. Physik.- 1965. - V. 188.- P. 154- 165.
3. **Aboyan A.O., Aghbalyan S.G.** Structural distortions of semiconducting silicon crystals caused by constant electric field // Cryst. Rech. Technol.-2010.- V.45.- P. 140- 144.

Ա.Հ. ԱՐՈՅԱՆ, Ա.Ա. ԽՉԱՐՋՅԱՆ

ԲԱԶՄԱՊԱՏԻԿ ԻՆՏԵՐՖԵՐԱԶԱՓԵՐՈՎ ԲՅՈՒՐԵՂՆԵՐԻ ԱՆԿԱՏԱՐՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ՀԵՏԱԶՈՏՈՒԹՅՈՒՆԸ

Կատարվել են բյուրեղների անկատարությունների տարածաչափական հետազոտություններ՝ բազմապատիկ ինտերֆերաչափների կիրառմամբ: Ցույց են տրված բյուրեղների անկատարությունների սովորական ռենտգենադիֆրակցիոն և ռենտգենահետերֆերաչափական մեթոդներով հետազոտման թերությունները: Առաջարկված է միաբյուրեղներում արատների հայտնաբերման տարածաչափական տեղագրության կատարյալ մեթոդ: Փորձարարական ճանապարհով ցույց է տրված, որ բազմապատիկ ինտերֆերաչափներով կարելի է հայտնաբերել և սեգրեգացման գծերը, և շեղման գծերը, և տարբեր անկատարությունների մուարի պատկերները:

Առանցքային բառեր. ոռտացիոն, դիֆրակցիոն և խառը ռենտգենյան մուարներ, երկբյուրեղ և եռաբյուրեղ երկակի ինտերֆերաչափներ, սեգրեգացման գծեր, շեղման գծեր:

A.H. ABOYAN, A.A. KHZARDZHIAN

INVESTIGATION OF CRYSTAL IMPERFECTIONS BY MULTIPLE INTERFEROMETERS

Stereometric investigations of the crystal imperfections by applying multiple interferometers are carried out. The disadvantages of the ordinary x – ray diffraction and x – ray interferometric investigation methods of the crystal imperfections are shown. A perfect method of stereometric topography for the revelation of the monocrystal defects is proposed. It is experimentally shown that by means of double and triple interferometers, it is possible to detect the segregation lines, the displacement lines and the moire patterns of different types of imperfections.

Keywords: rotation, dilatational and mixed X – ray moires, double two – and three – crystal interferometers, segregation lines, shift lines.

УДК 530.161:538.4+532.7.13

Л.С. МАНУКЯН, С.Д. МАНУКЯН

О ПАМЯТИ К ДЕЙСТВИЮ МАГНИТНОГО ПОЛЯ В ВОДНЫХ РАСТВОРАХ МАКРОМОЛЕКУЛ

Рассмотрена принципиально новая возможность запоминания действия магнитного поля, которое реализуется в водных растворах макромолекул, в частности, в растворах коллоидного железа. Под действием магнитного поля коллоидные частицы деформируются (явление стрикции) и в таком деформированном состоянии существуют сравнительно недолго. Однако источником памяти являются не сами деформированные макромолекулы, а сопутствующий активационный процесс (коагуляция, адсорбция и т.д.), который фиксирует (поглощает) деформированные макромолекулы с большей скоростью, чем скорость релаксации деформированного состояния к состоянию равновесия.

Ключевые слова: продольные и поперечные эффекты, магнитогидродинамический метод, магнитогидродинамический метод деминерализации жидкостей, магнитогидродинамический сепаратор, коагуляция, адсорбция, раствор коллоидного железа.

Введение. При течении электролитов относительно внешнего электрического и магнитного полей (в частности, только магнитного) возникает большое число взаимосвязанных продольных и поперечных эффектов [1,2], которые играют важную роль в технологии магнитогидродинамической деминерализации жидкостей (опреснение засоленных вод, в том числе морской) [3-5].