УДК 548.733

СПОСОБ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОСТРАНСТВЕННОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПОЛЯ ДЕФОРМАЦИИ КРИСТАЛЛОВ КРАТНЫМИ ИНТЕРФЕРОМЕТРАМИ

А. О. АБОЯН, А. А. ХЗАРДЖЯН

Ереванский политехнический институт им. К. Маркса

(Поступила в редаждию 14 декабря 1989 г.)

В работе предложен ренттеноинтерферометрический способ исследования поля деформации дефектов в юристаллах с помощью двухкратных и трехкратных интерферометров.

Экспериментально показано, что юратными интерферометрами можно обнаружить и линии сегрегации ,и полосы смещския, и муаровые карти: м различных несовершенств.

Как известно, рентгеновские рефлексы реагируют на структурные дефекты только в том случае, когда деформационные сдвити атомов, вызванные этими дефектами, перпендикулярны к атомным плоскостям, отражением от которых образуется данный рефлекс. Строго говоря, только те дефекты не влияют на интенсивность рефлексов, сдвиги которых лежат на отражающих плокостях.

В частности, контраст (видимость) дислокационной линии (изображения) сильно зависит от ориентации вектора Бюргерса относительно отражающих плоскостей — изображение дислокации имеет максимальный контраст, когда вектор Бюргерса перпендикулярен к отражающим плоскостям. Далее, контраст полос сегрегации зависит от ориентации отражающих плоскостей относительно оси роста кристалла — они наблюдаются с максимальным контрастом, когда дифракционный вектор параллелен оси роста кристалла, а если он перпендикулярен к этой оси, то, полосы сегрегации невидимы. Когда в сегрегированных областях кристалла одновременно имеются и выделения, то полосы сегрегации наблюдаются независимо от величины угла между дифракционным вектором и осью роста кристалла.

Таким образом, топограммы и интерферограммы, полученные от одного семейства отражающих плоскостей, не дают полной картины несовершенств исследуемого кристалла. Поэтому для более или менее полного описания деформированного состояния кристаллов необходимо получить дефектограмму от одного и того же кристалла с помощью двух и трехплоскотных семейств, отличающихся ориентациями.

Известны рентгеноинтерферометрические способы исследования несовершенств кристаллов [1, 2].

Во всех этих исследованиях использованы одинарные интерферометры — одно семейство отражающих плоскостей. В таких интерферометрах, как правило, только одно семейство сильно отражающих плоскостей, при-

222

надлежащих одному и тому же комплексу симметрично эквивалентных плоскотей, ориентировано удобно для отражения, поэтому интерферограммы, полученные от этих интерферометров, не дают полной картины несовершенств исследуемого кристалла.

В работе предложен новый ренттеноинтерферометрический способ, более полно описывающий поля деформации кристаллов. Цель достигается с помощью кратных интерферометров.

1. Двухкратный двухкристальный и трёхкристальный интерферометр

Все экспериментальные исследования нами проведены на кремниевых образцах.

Как видно из формулы

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

в кубической сингонии угол а между (110 и (110) симметрично эквивалентных плоскостей равен 90°.

Поэтому, для достижения нашей цели нами были иэготовлены двухкристальный и трехкристальный двухкратные интерферометры из кристалла кремния. Двухкристальный интерферометр состоит из двух параллелепипеидальных блоков, разделенных параллельным воздушным зазором. Толщины блоков (равные 4,5 мм) таковы, что при этих значениях в кристалле кремния имеет место бормановское аномальное поглощение Мо К_а излучения. Ширина зазора — 260 мкм.

Как видно из формулы (1), семейства сильно отражающих плоскостей (110) и 110) 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 повернуть интерферометр на 90° вокруг оси, перпендикулярной поверхности входа интерферометра. Таким образом, создаются условия для получения совершенно одинаковых интерференционных картин кратных интерферометров. Конечно, это достигается только в том случае, когда блоки инитерферометра — почти идеальные кристаллы. Если же блоки интерферометра (или исследуемый кристалл) содержат дефекты, ориентация которых относительно отражающих плоскостей разных семейств двухкратного интерферометра — разная, то интерференционные картины этих интерферометров будут отличаться, что даст возможность судить о пространственной ориентации дефектов и распределении деформаций, вызванных этими дефектами.

На рис. 1а, 6; 2а, 6; 3а, 6 показаны соответственно топограммы и интерферограммы, полученные от одного кристалла, двухкратного двухкристального и двухкратного трехкристального интерферометров с отражениями 220 и 220.

Как видно из рисунков 1а и 16, отражение 220 никаких дефектов не

обнаружило (рис. 1а), а отражение 220 сбнаружило сегрегацию (на рис. 16 получены линии сегрегации). Эти рисунки показывают, что отражение 220 в двухкратном двухкристальном интерферометре обнаруживает только линии смещения (рис. 2а), а отражение 220 — как линии смещения, так и линии сегрегации.

Si and la



Рис. 1. Топограммы от одного кристалла: а — отражение 220, 6 — отражение 220. Рис. 2. Интерферограммы от двухкратного двуххристаль: ого интерферометра: а — отражение 220, 6 — отраже: не 220.



Рис. 3. Топограммы от двухюристального трехкратного интерферометра: а — отражение 220, 6 — отражение 220.

На рис. 26 картина получена в результате интерференционного наложения линий смещения и сегрегации.

В первом кристалле двухкратного трехкристального интерферометра оказалась дислокация, поэтому на рис. За (отражение 220) получилась интерферометрическая муаровая картина поля деформации дислокации, а на рис. 36 (отражение 220) видна картина, полученная в результате когерентного наложения линий сегрегации и муара дислокации.

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

Как видно из приведенных рисунков, отражением от плоскостей (110) линии сегрегации не получаются, а от плоскостей (110) — получаются, следовательно, во-первых, дифракционный вектор отражения 220 паралелен оси роста кристалла, а дифракционный вектор отражения 220 — перпендикулярен к этой оси и, во-вторых, в кристаллах интерферометра выделения отсутствуют.

2. Трехкратный двухкристальный и трехкристальный интерферометр

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

Как видно из формулы (1), угол а между (110) и (011), а также между (011) и (101) симметрично эквивалентных плоскостей равен 60°.

Указанная цель достигается тем, что рентгеновские излучения направляют под углом Брэгга на одно из трех семейств отражающих плоскостей трехкратного интерферометра, регистрируют дифрагированное излучение, затем поворотом интерферометра на 60° получают интерференционную картину от второго и третьего семейств, повторяют регистрацию излучения и сопоставлением полученных картин судят о несовершенстве структуры.

На рисунках 4а, б, в показаны сежционные топотраммы, полученные от треккратного двухкристального интерферометра отражениями 220, 202 и 022 (излучение Мо Ка).

На рисунках 5а, 6, в показаны топограммы, полученные от трехкратного трехкристального интерферометра отражениями 220; 202 и 022.

Внимательное исследование этих снимков позволяет сделать следующие выводы:

1. Кристаллы двухкристального трехкратного интерферометра не содержат дислокаций: на интерферограммах (рис. 4а, б, 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 к оси роста кристаллов интерферометра. 2. Интерферометрические топограммы, приведенные на рисунках 5а, б, 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.

1 ... St. 11 . 2



Рис. 4. Интерферограммы от трехкратного двухкристального интерферометра: отражения 220, 202, 022.

ALT HE KILPHOL

The is proved to the state

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.

3. Для определения вида и места расположения дислокации мы пользовались простым топографическим методом: с целью выяснения, в каком



Рис. 5. Топограммы от трехкратного трехкристального интерферометра: отражения 220, 202, 022.

блоке расположена дислокация, мы получили топограмму после каждого кристалла трехкристального интерферометра и убедились в том, что в нем имеется только одна дислокационная линия, расположенная в первом кристалле. Изображения дислокаций, полученные от различных семейств трехкратного интерферометра, отличаются только длинами и ориентациями.

ЛИТЕРАТУРА

1. Bons U. and Graeff W. J. App. Phys., 22, 93 (1977). 2. Раранский Н. Д. Материалы Всесоюзного совещания. Ереван, 1985, с. 117.

ՔԱԶՄԱՊԱՏԻԿ ԻՆՏԵՐՖԵՐՈՄԵՏՐԵՐՈՎ ԲՅՈՒՐԵՂՆԵՐԻ ԴԵՖՈՐՄԱՑԻԱՑԻ ԳԱՇՏԻ ՏԱՐԱԾԱԿԱՆ ԲԱՇԽՄԱՆ ՈՒՍՈՒՄՆԱՍԻՐՄԱՆ ԵՂԱՆԱԿ

U. 2. UPASULC, U. U. LQUP2SUL

Առաջարկված է բյուրեղների Թերությունների դեֆորմացիայի դաշտի ուսումնասիրման ռենտգենաինտերֆերոմետրիկ եղանակ կրկնակի և եռակի ինտերֆերոմետրերով։ Փորձարարական Ճանապարհով ցույց է տրված, որ բազմապատիկ ինտերֆերոմետրերով կարելի է հայտնաբերել և սեգրեգացիայի գծերը, և շեղման գծերը, և տարբեր անկատարելիության մուտրի պատկերները։

A METHOD FOR INVESTIGATION OF SPACE DISTRIBUTION OF DEFORMATION FIELD OF CRYSTALS BY MEANS OF MULTIPLE INTERFEROMETERS

A. O. ABOYAN, A. A. KHZARDZHYAN

A method for X-ray interferometric investigation of the deformation field of crystal imperferetions by means of double and triple interferometers is proposed. It is shown experimentally that by means of double and triple interferometers it is possible to detect the segregation lines, displacement lines and the Moire patterns of different type imperfections as well.

Изв. АН Армянской ССР, Физика, т. 25, вып. 4, 227-233 (1990)

УДК 550.388.2

СТАТИЧЕСКИЙ ТЕНЗОР ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТИ ИОНОСФЕРЫ ЗЕМЛИ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕННОЙ МОДЕЛИ ОКОЛОЗЕМНОГО КОСМИЧЕСКОГО ПРОСТРАНСТВА

Ю. С. ВАРДАНЯН

Институт раднофизники и электроники АН АрмССР

(Поступила в редакцию 31 октября 1989 г.)

В работе вычислен статический тензор электропроводности для ограниченной, многослойной, неоднородной ионосферной плазмы с учетом фотоионизации и рекомбинации, а также амбилолярной диффузии и силы тяжести заряженных частиц.

В настоящей работе исследуется электропроводность ионосферы Земли во всей ее толще с учетом силы тяжести и столкновения составляющих

227