Изв. АН Армянской ССР, Физика, 5, 453—457 (1970)

ТЕХНИКА ЭКСПЕРИМЕНТА

РЕНТГЕНОВСКИЙ ИНТЕРФЕРОМЕТР И ЕГО ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ

Ф. О. ЭЙРАМДЖЯН, П. А. БЕЗИРГАНЯН

Изготовлен рентгеновский интерферометр из монокристалла кремния и с помощью полученных муаровых картин оценена чувствительность прибора.

В оптике известно [1], что когерентными являются только волны, принадлежащие одному и тому же акту испускания данного атома и поэтому для получения когерентных волн необходимо испускаемое излучение расчленить на два потока и заставить их встретиться после того, как ими пройдены различные пути. Все оптические интерферометры осуществлены по этому принципу. Очевидно, что по этому же принципу можно было изготовить и рентгеновские интерферометры [2—9]. Однако после открытия интерференции рентгеновских лучей в кристаллах долгое время не были осуществлены рентгеновские интерферометры. Вероятно это объясняется тем, что из-за малой длины рентгеновской волны к интерферометрам этих волн предъявлялись более жесткие требования, и первым долгом предстояло преодолеть следующие трудности:

1) для получения четкой интерференционной картины необходимо, чтобы налагаемые волны были бы строго плоско-параллельными и монохроматическими, что достигается трудно в реальных кристаллах,

2) так как зеркальное отражение рентгеновских лучей получается только в области очень малых углов скольжения, поэтому расщепление первичного пучка практически возможно только с помощью Вульф-Брегговского отражения от атомных плоскостей, что требует достаточно точной ориентировки отдельных частей (блоков) интерферометра друг относительно друга,

3) практически интерференционная картина не наблюдается, когда амплитуды налагаемых волн намного отличаются друг от друга. С другой стороны, расщепление первичного пучка на волны, с мало отличающимися амплитудами, также нелегкая задача.

С развитием техники выращивания почти бездислокационных (идеальных) кристаллов и с открытием явления аномального поглощения [10—11] рентгеновских лучей стало возможным преодолеть перечисленные трудности и осуществить [2—9] рентгеновские интерферометры.

Задачей излагаемой работы была разработка, изготовление и ис-

пытание рентгеновского интерферометра: получение интерференционной картины и определение чувствительности прибора.

Описание интерферометра

Интерферометр был изготовлен по схеме, показанной на рис. 1. Из почти бездислокационного монокристалла кремния (плотность дислокаций $\rho = 10-20$ *см*$^{-2}$) была вырезана Ш-образная фигура: три блока с общим основанием, изготовленные из одного и того же куска монокристалла (рис. 2). Отражающие плоскости (220) были перпенди-

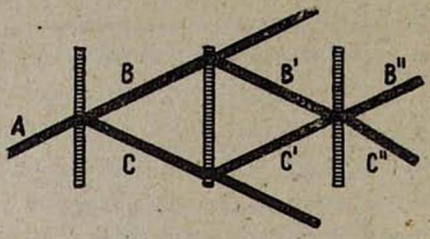

Рис. 1. Ход лучей в интерферометре.

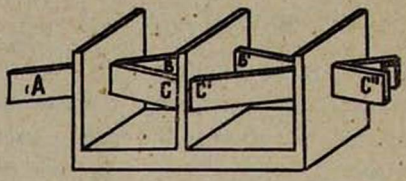

Рис. 2. Схема интерферометра.

кулярными к большим поверхностям кристаллов (блоков) и поверхности основания (рис. 2). Размеры блоков (без основания) были $14 \times 12 \times \times 0{,}7$ *мм*. Толщины кристаллов (блоков) контролировались с точностью до 3—4 микрона. После тщательной полировки и отжига кристаллов интерферометра были получены интерференционные картины от этого интерферометра (рис. 3) на камере КРС (Миускова-Ланге).

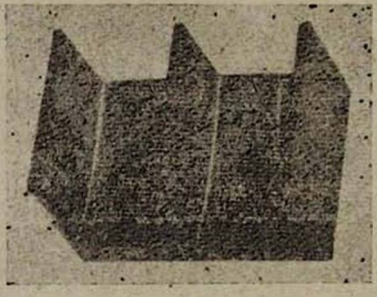

Рис. 3. Рентгеновский интерферометр.

Разрешение интерферометра

Как видно из первого рисунка, в первом кристалле $\frac{s}{c}$(блоке) падающий пучок A расщепляется на два пучка (B и C) и, если толщина этого кристалла и длина волны падающего излучения выбраны подходящим образом, то интенсивности этих пучков будут почти одинаковыми, что необходимо для получения интерференционной картины. Во втором кристалле происходят вторые отражения и пучки B' и C' налагаются друг на друга в третьем кристалле, где и возникают пучки B'' и C''.

В случае идеальных кристаллов интерферометра (бездислокационные, бездефектные кристаллы, имеющие одинаковые межплоскостные расстояния и идеальные точно-параллельные ориентировки) во всех точках облучаемого объема третьего кристалла пучки B' и C' будут находиться в одинаковых фазах и, следовательно, во всех точках поперечных сечений пучков B'' и C'' контрастность будет одинаковой.

При наличии дислокации в кристаллах интерферометра на пленках, вставленных перпендикулярно пучкам B' и C', получаются топограммы этих дислокаций.

С другой стороны, как известно [12—14], муаровые узоры возникают при наложении двух кристаллов, различающихся параметром или ориентировкой. Если кристалл рассматривать как штриховую дифракционную решетку, штрихи которой параллельны плоскостям решетки, находящимся в Вульф-Брегговском отражающем положении, то при наложении двух кристаллов с небольшой разницей в ориентации для периода муаровых узоров получим

$$D = \frac{d}{\Theta}, \tag{1}$$

где d — межплоскостное расстояние отражающих кристаллов,

Θ — угол между отражающими плоскостями этих двух кристаллов

D — период муаровых полос.

Как видно из (1), при достаточно малых Θ период муаровых картин поворота D будет намного больше, чем период решетки d, т. е. происходит сильное увеличение разрешения рентгеновской дифракционной картины.

При наложении двух строго параллельных кристаллов с несколько отличающимися периодами d_1 и d_2 также возникают муаровые узоры с увеличенным периодом

$$D = \frac{d_1 d_2}{d_1 - d_2}. \tag{2}$$

Как видно из последнего, если d_1 и d_2 достаточно мало отличаются, то период D параллельного муара намного больше, чем межплокостные расстояния отражающих плоскостей этих параллельных кристаллов, т. е. и в этом случае резко увеличивается разрешение дифракционных картин.

Если налагаемые кристаллы отличаются друг от друга как параметрами, так и ориентировкой, то период муаровых картин определяется выражением

$$D = d_1 \left[\frac{(d_1 - d_2)^2}{d_2^2} + \theta^2 \right]^{-1/2}. \tag{3}$$

Известно также, что муаровые полосы вращения получаются параллельно плоскости падения (перпендикулярно штрихам дифракционной решетки), а полосы параллельного муара перпендикулярны плоскости падения (параллельно штрихам решетки).

В случае, когда одновременно $d_1 - d_2$ и Θ отличны от нуля, получаются контуры (полосы), которые с дифракционным вектором составляют угол

$$\operatorname{arctg}\left(\frac{d_1 - d_2}{d_2 \Theta}\right).$$

Муаровые узоры, полученные одним из наших интерферометров (см. рис. 3), приведены на рис. 4.

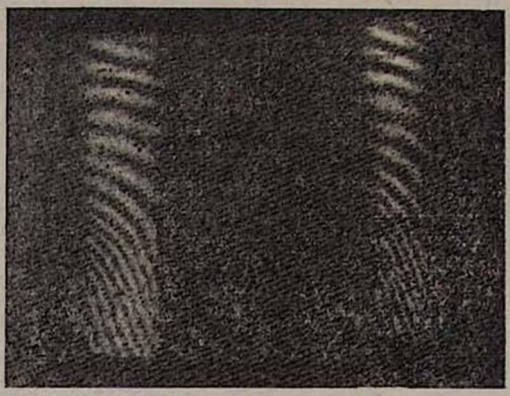

Рис. 4. Муаровая картина, полученная интерферометром.

Как видно из этого рисунка, полученная картина представляет из себя муаровые узоры вращения, так как полосы параллельны плоскостям падения и перпендикулярны отражающим плоскостям (отражающие плоскости вертикальны, а плоскость падения горизонтальна).

С помощью формулы (1) легко оценить величину разориентации Θ, благодаря чему возникли эти узоры. Действительно, из муаровых картин, определив период полос D и зная межплоскостное расстояние d, можно определить Θ по

$$\Theta = \frac{d}{D}. \qquad (4)$$

Период муаровых картин $D = 1{,}35$ *мм*, межплоскостное расстояние рассеивающих плоскостей $d_{220} = 1{,}902$ Å, по этим данным из (4) получим $\Theta = 1{,}41 \cdot 10^{-7}$ радиан, который равен 0,027 угловым секундам.

Такое незначительное вращение без рентгеновского интерферометра не смогли бы обнаружить ни каким способом.

Таким образом, исходя из вышеизложенного, можно констатировать:

1) В Советском Союзе впервые изготовлен рентгеновский интерферометр из монокристалла кремния.

2) С помощью интерферометра получена интерференционная картина, в частности, муаровые узоры.

3) Оценена величина разрешения интерферометра и показано, что с помощью интерферометра можно разрешить разориентировки порядка сотых долей угловых секунд.

В заключение выражаем благодарность Пинскеру З. Г. за обсуждение результатов и за ценные советы.

Ереванский государственный университет Поступила 20.II.1970

ЛИТЕРАТУРА

1. *Г. С. Ландсберг*, Оптика М., 1965.
2. *U. Bonse, M. Hart*, Appl. Phys. lett. 6, 8 (1965).
3. *U. Bonse, M. Hart*, Appl. Phys. lett. 7, 4 (1965).
4. *U. Bonse, M Hart*, Z. für Physik, 188, 154 (1965).
5. *U. Bonse, M. Hart*, Z. für Physik, 190, 455 (1966).
6. *U. Bonse, M. Hart*, Z. für Physik, 191 (1966).
7. *U. Bonse, M. Hart*, Acta Cryst. A24, 240 (1968).
8. *U. Bonse, E. te Kaat*, Z. für Physik, 241 (1968).
9. *U. Bonse, H Hellkötter*, Z. für Physik, 223, 345 (1969).
10. *G. Borrmann*, Phys. Zs., 42, 157 (1941).
11. *M. Laue*, Acta Cryst, 2, 106 (1949).
12. *Р. Дичберн*, Физическая оптика, М., 1965.
13. *С. Амелинкс*, Методы прямого наблюдения дислокаций, М., 1968.
14. *П. Хирш* и др., Электронная микроскопия тонких кристаллов, М., 1968.

ՌԵՆՏԳԵՆՅԱՆ ԻՆՏԵՐՖԵՐՈՄԵՏՐԸ ԵՎ ՆՐԱ ԶԳԱՅՆՈՒԹՅՈՒՆԸ

Ֆ. Հ. ԷՅՐԱՄՋՅԱՆ, Պ. Հ. ԲԵԶԻՐԳԱՆՅԱՆ

Սիլիցիումի մի բյուրեղից պատրաստվել է եռա-աձև ռենտգենյան ինտերֆերոմետր։ Այդ ինտերֆերոմետրի օգնությամբ ստացվել են մուարի գծեր (ինտերֆերենցիոն պատկեր) և գնահատվել է նրա զգայնությունը։ Ցույց է տրված, որ ռենտգենյան ինտերֆերոմետրի միջոցով կարելի է բաղդատել ատոմային հարթությունների հարյուրերորդական վայրկյանի կարգի ապակողմնորոշումները։

AN X-RAY INTERFEROMETER AND ITS SENSIBILITY

F. H. EIRAMGIAN and P. H. BEZIRGANIAN

A threeblock X-ray interferometer is prepared from a silicon single crystal. With the interferometer prepared, moire patterns are obtained and its sensiblity is estimated. It is shown, that with its help one may obtain an atomic lpane disorientation resolution of a hundredth part of a second of arc.