

УДК 548.732

ЗАВИСИМОСТЬ РЕНГЕНОДИФРАКЦИОННЫХ КАРТИН ОТ ПЕРВИЧНОГО ПАДАЮЩЕГО ПУЧКА

Л.Г. ГАСПАРЯН, В.П. МКРТЧЯН*

Ереванский государственный университет, Армения

*e-mail: vmkrtchyan@ysu.am

(Поступила в редакцию 14 августа 2012 г.)

В зависимости от коллимации первичного падающего пучка исследованы рентгенодифракционные картины, полученные от плоскопараллельной кристаллической пластины со сферическим углублением и от клинообразного кристалла. Показано, что при падающем лентообразном пучке секционные топограммы, полученные от клинообразного кристалла, имеют вид V-образных или прямых полос в зависимости от ориентации отражающих плоскостей относительно поверхности лентообразного пучка рентгеновских лучей. При широком параллельном и асимметрично отраженном широком монохроматизированном пучках от клинообразных кристаллов получают параллельные полосы, а от плоскопараллельных кристаллических пластин со сферическим углублением получают круговые полосы. При лентообразном первичном пучке, в результате сканирования кристалла со сферическим углублением и рентгеновской пленки, V-образные картины принимают вид круговых полос.

Одной из основных задач рентгеновской дифракционной диагностики несовершенств кристаллов является интерпретация полученных рентгенодифракционных изображений этих несовершенств. Однозначная интерпретация зарегистрированных изображений дефектов и распределений интенсивностей интерференционных полей в общем случае является сложной задачей. Сложность обусловлена тем, что изображения дефектов и картина распределения интенсивности интерференционных полей зависят от многих факторов, в том числе и от параметров первичного пучка (коллимации) и метода регистрации (см. работы [1-7]).

Для однозначной интерпретации рентгеновских интерференционных и дифракционных картин очень важно детальное исследование распределения фаз и постоянство их распределения по времени на входной поверхности облучаемого кристалла. Наблюдаемая интерференционная картина получается только в том случае, когда разность фаз между суперпозирующими волнами остается во времени постоянной. В связи с этим было бы точнее определять фронт волны не как поверхность постоянных фаз и амплитуд (в вакууме), а как одинаковых фаз: во всех точках фронта фазы со временем меняются, но

меняются одинаково – во всех точках фронта в данный момент фазы имеют одинаковые значения.

Облучение кристалла или его части считается когерентным, если разность фаз волн между точками облучаемого объема со временем не меняется. В случае точечного источника когерентность облучения имеет место только в той части облучаемого объема, все точки которой облучаются одним и тем же углом характеристического излучения или его частями. Таким образом, размеры когерентно облученной области не больше размеров одного облучающего угла.

В случае характеристического излучения совокупности атомов небольшого объема (когда можно пренебречь пространственной некогерентностью) размеры когерентно облучаемой части кристалла определяются размерами группы одновременно облучаемых одинаковых углов.

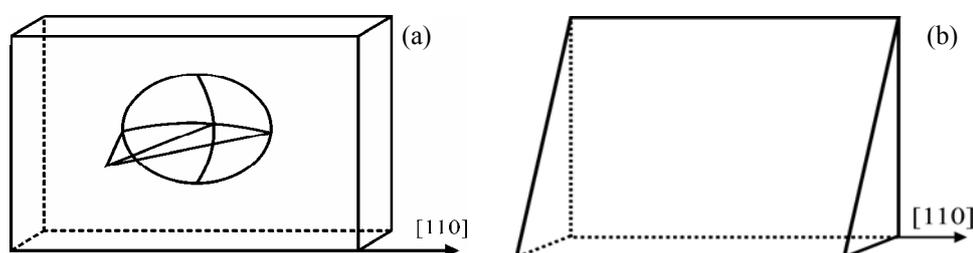


Рис.1. Образец со сферическим углублением (а) и клинообразный образец (b).

Рассмотрим, как зависят рентгенодифракционные картины от коллимации первичного падающего пучка и формы (параметров) кристаллического образца. В данной работе ограничимся исследованием рентгенодифракционных картин, полученных от сферического сегментообразного и клинообразного кристаллов (рис.1), в зависимости от коллимации первичного падающего пучка. Нами были использованы 3 вида первичного падающего пучка – узкий лентообразный, полученный последовательным прохождением излучения через две узкие параллельно вставленные щели; плоскопараллельный монохроматический широкий пучок, полученный крайне асимметричным отражением от совершенного кристалла (см. рис.2); широкий параллельный пучок, полученный последовательным прохождением излучения через две широкие щели, вставленные на большом расстоянии друг от друга, параллельно линейному фокусу рентгеновской трубки.

Плоскопараллельный монохроматический пучок излучения MoK_α был получен по схеме, приведенной на рис.2. Пучок рентгеновских лучей от точечного источника, пройдя через две параллельно вставленные узкие щели S_1 и S_2 , падал на асимметричный монохроматор M_1 (кристалл кремния, отражающие плоскости 220). После отражения от монохроматора M_1 лучи,

после прохождения через узкую щель, падали на асимметричный монохроматор M_2 с теми же отражающими плоскостями. Для обоих монохроматоров параметр асимметрии b был равен 15. После двойного отражения пучок рентгеновских лучей падал на образец со сферическим углублением.

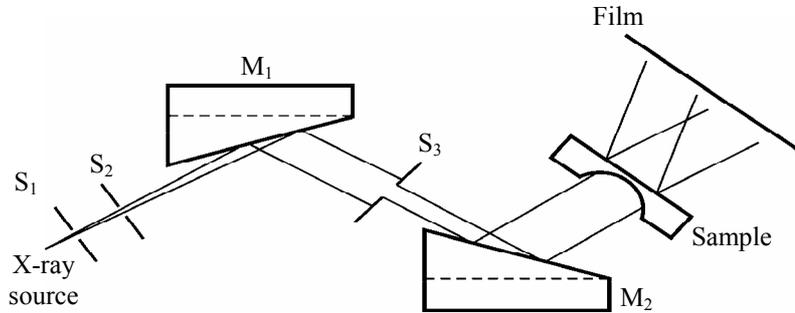


Рис.2. Схема эксперимента получения монохроматического пучка.

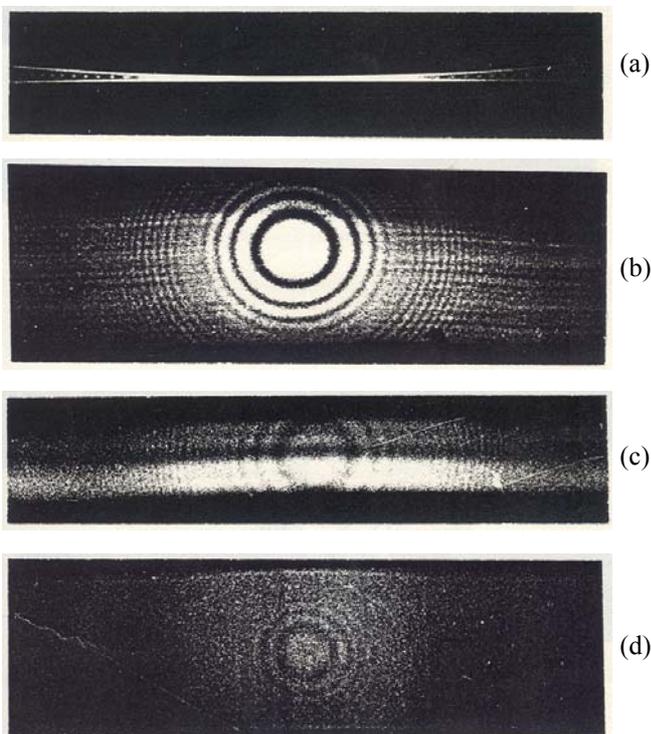


Рис.3. Секционные топограммы, полученные при падающем узком лентообразном пучке (a), плоскопараллельным монохроматическим пучком (b), широким параллельным пучком (c), узким лентообразным падающим пучком при непрерывном сканировании (d).

На рис.3 приведены рентгенодифракционные картины, полученные отражением (220) от сферических сегментов, изготовленных из кристалла кремния. Отражающие плоскости перпендикулярны к большой поверхности кристаллической пластины, на которой проделано сферическое углубление. При падающем лентообразном пучке от различных частей сегмента получаются маятниковые полосы (рис.3а).

На рис.3b и 3с приведены секционные топограммы, полученные широким плоским монохроматическим и широким параллельными пучками, соответственно.

Топограмма, приведенная на рис.3d, получена узким лентообразным падающим пучком, но уже при непрерывном сканировании.

Как показали опыты, в случае узкого лентообразного первичного пучка на секционных топограммах получены V-образные маятниковые полосы сферических волн (рис.3а), а в случаях плоскопараллельного монохроматического и широкого параллельного пучков получены круговые полосы (рис.3b и 3с). Как видно из этих рисунков, круговые полосы почти одинаковы, с одной лишь разницей, что разрешение (контраст) полос в случае плоского монохроматического пучка (рис.3b) лучше, чем в случае широкого параллельного пучка (что и следовало ожидать, см. рис.3с).

Как уже отмечалось, в случае сферического сегмента и лентообразного первичного пучка была получена и проекционная топограмма (сканирование), которая приведена на рис.3с. Из этого рисунка видно, что и в этом случае получаются круговые полосы с плохим контрастом. Ясно, что в последнем случае круговые полосы являются геометрическим местом вершин V-образных полос, полученных на секционных топограммах (рис.3а).

На рис.4 приведены рентгенограммы отражения (220), полученные от клинообразного кристалла кремния при его облучении вышеперечисленными пучками трех видов. Если отражающие плоскости перпендикулярны к основанию клинообразного кристалла (см. рис.2), то при лентообразном первичном пучке получаются V-образные маятниковые полосы сферических волн (рис.4).



Рис.4. V-образные маятниковые полосы сферических волн.

При плоскопараллельном монохроматическом и широком параллельном пучках получаются семейства параллельных полос (рис.5), которые почти не отличаются друг от друга, за исключением контраста – в первом случае контраст лучше.

Для того же клинообразного кристалла и узкого лентообразного первичного пучка была получена также и проекционная топограмма (сканирование), которая приведена на рис.6. Как видно из этого рисунка, при сканировании получают семейства параллельных полос, которые являются геометрическим местом вершин V-образных маятниковых полос.

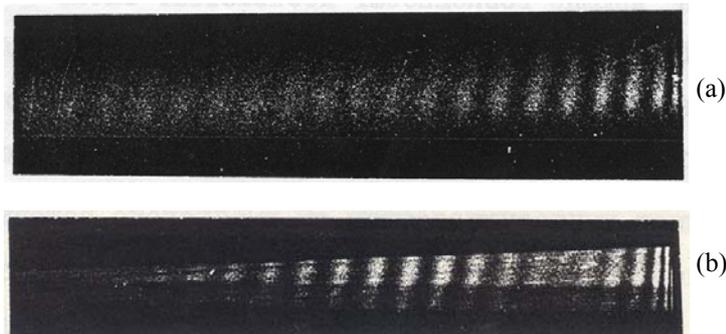


Рис.5. Рентгенограмма, полученная широким плоскопараллельным монокроматическим пучком (a) и широким параллельным пучком (b).

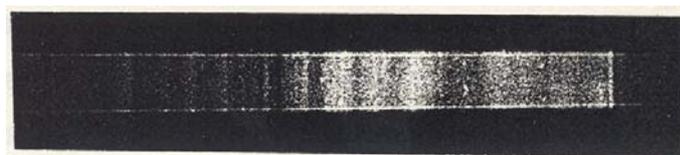


Рис.6. Топограмма, полученная узким лентообразным падающим пучком при непрерывном сканировании.

Из полученных в работе результатов можно сделать следующие основные выводы.

1. Как показали экспериментальные исследования, рентгеновские дифракционные картины существенно зависят от параметров первичного пучка, формы кристалла, ориентации отражающих плоскостей относительно поверхности входа и выхода и относительно данного первичного пучка, и от метода регистрации (секционные и проекционные топограммы). Поэтому для однозначной интерпретации полученных от кристаллов дифракционных картин и для повышения эффективности рентгеновских исследований крайне необходимо детальное исследование характера указанных зависимостей.

2. Для получения картины структурных несовершенств от большого объема кристалла часто прибегают к сканированию кристалла вместе с рентгеновской пленкой относительно первичного пучка – из секционной топограммы получают проекционную топограмму. Однако проекционная топограмма часто искажает истинную картину несовершенств кристаллов и затрудняет однозначную интерпретацию их дифракционных изображений. Для обеспечения однозначной интерпретации дифракционных изображений

чения однозначной интерпретации дифракционных изображений необходимо произвести пошаговое сканирование.

3. Как показано выше, широкие параллельные пучки, полученные с помощью двух широких щелей, отстоящих друг от друга на большое расстояние, и широкие монохроматизированные пучки, полученные с помощью крайне асимметричных отражений, дают почти одинаковые дифракционные картины. Поэтому во избежание трудностей при монохроматизации и ослабления интенсивности первичного пучка предпочтительнее пользоваться широким параллельным пучком.

ЛИТЕРАТУРА

1. **U.Bonse, W.Graeff.** X-ray and Neutron Interferometry – Topics in Applied Physics, **22**, X-ray Optics, Applications to Solids, p.93 (1977).
2. **R.W.James.** Solid State Phys., **15**, 53 (1983).
3. **З.Г.Пинскер.** Динамическое рассеяние рентгеновских лучей в идеальных кристаллах. М., Наука, 1974.
4. **T.Ishikawa, S.Kikuta, K.Kohra.** J. Appl. Phys., **24**, L559 (1985).
5. **T.Fukamachi, R.Negishi, S.Zhou, Xu.T.Kawamura, I.Matsumoto, T.Sakamaki, T.Nakajima.** J. Appl. Cryst., **31**, 351 (1998).
6. **T.Fukamachi, R.Negishi, S.Zhou, M.Yoshizava, T.Kawamura.** Acta Cryst. A, **58**, 552 (2002).
7. **T.Fukamachi, R.Negishi, S.Zhou, M.Yoshizava, I.Matsumoto, T.Kawamura.** Jpn. J. Appl. Phys., **43**, 5365 (2004).

ՌԵՆՏԳԵՆԱԴԻՖՐԱԿՑԻՈՆ ՊԱՏԿԵՐՆԵՐԻ ԿԱՍՈՒՄԸ ԱՌԱՋՆԱՅԻՆ ՓՆՋԻ ՊԱՐԱՄԵՏՐԵՐԻՑ

Լ.Գ. ԳԱՍՊԱՐՅԱՆ, Վ.Պ. ՄԿՐՏՉՅԱՆ

Առաջնային փնջի պարամետրերից կախված հետազոտված են սեպաձև բյուրեղից և գնդային փորվածքով բյուրեղային թիթեղից ստացված ռենտգենադիֆրակցիոն պատկերները: Ցույց է տրված, որ ընկնող ժապավենաձև փնջի դեպքում այդ նմուշներից ստացված սեկցիոն պատկերներն ունեն V-աձև շերտերի կամ ուղղաձիգ գծերի ձև՝ կախված անդրադարձնող հարթությունների կողմնորոշումից ընկնող ռենտգենյան փնջի մեծ մակերևույթի նկատմամբ: Լայն հարթ զուգահեռ փնջի դեպքում սեպաձև բյուրեղից ստացվում են զուգահեռ գծեր, իսկ գնդաձև փորվածք ունեցողից՝ կլոր գծեր: Ժապավենաձև առաջնային փնջի դեպքում բյուրեղի և ռենտգենյան ժապավենի հետադարձ-համընթաց շարժման պայմաններում V-աձև շերտերը դառնում են շրջանագծեր:

DEPENDENCE OF X-RAY DIFFRACTION PATTERNS ON THE PARAMETERS OF PRIMARY INCIDENT BEAM

L.G. GASPARYAN, V.P. MKRTCHYAN

X-ray diffraction patterns obtained from a plane-parallel crystalline plate with a spherical cavity and from a wedge-shaped crystal have been investigated depending on the collimation of the primary incident beam. It is shown that in the case of ribbon-like incident beam the sectional topograms obtained from the wedge-shaped crystal have the forms of V-shaped or straight fringes depending on the orientation of reflecting planes relative to the surface of the X-ray ribbon-like

beam. In the case of a wide parallel beam or an asymmetrically reflected wide monochromatic beam the parallel fringes are obtained from the wedge-shaped crystals, and the circular fringes are obtained from the plane-parallel crystalline plates with a spherical cavity. For the primary ribbon-like beam the V-shaped patterns acquire the form of circular fringes as a result of scanning the crystal with a spherical cavity and the X-ray film.