

К ВОПРОСУ О РАССЕЯНИИ РЕНТГЕНОВСКИХ ЛУЧЕЙ ПОВЕРХНОСТЬЮ
ТВЕРДОГО ТЕЛА

К. В. Киселева, А. Г. Турьянский

УДК 548.732

Исследовалось рассеяние рентгеновских лучей от оптически полированных поверхностей твердого тела. Показано, что появление асимметричного отражения является характерной особенностью угловой диаграммы рассеяния, а его природа обусловлена в основном рассеянием на подповерхностных дефектах, связанных с флуктуациями плотности.

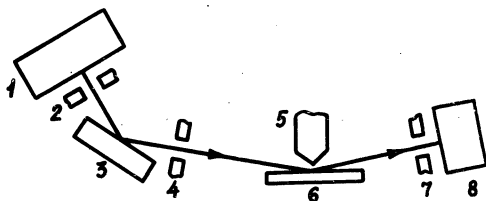
В работах /1-5/ изучалась угловая диаграмма рассеяния рентгеновского излучения при скользящих углах падения пучка на плоскую полированную поверхность. Появление асимметрично (аномально) отраженного максимума (АОМ) объяснялось влиянием различных факторов: 1) взаимодействием излучения с валентными электронами атомов рассеивающей поверхности /1/; 2) угловой расходимостью падающего пучка /2/; 3) малоугловым рассеянием на неоднородностях рельефа с последующим зеркальным отражением /3/; 4) рассеянием на неоднородностях плотности (межзеренные границы поликристалла) /4/. В работе /5/ анализировались перечисленные факторы и сделан вывод, что 5) появление асимметрично отраженного пика обусловлено в основном микрогеометрией отражающей поверхности. При этом для появления АОМ, согласно /5/, необходимо выполнение условия $\varphi_K < \varphi < 2\varphi_K$, где φ_K - критический угол полного внешнего отражения, φ - угол скольжения падающего пучка.

Однако нами при измерениях диаграммы рассеяния наблюдалось появление АОМ при значительно больших углах скольжения - (4 + 5) φ_K и более.

В связи с этим была поставлена настоящая работа, в которой исследование диаграмм рассеяния осуществлялось в экспериментальных условиях, позволяющих последовательно исключать влияние пе-

речисленных факторов, и таким образом судить о причине появления асимметричного отражения.

На рис. 1 изображена используемая схема измерения. Расстояние между диафрагмой 3 и ограничивающим экраном 4 изменялось в пределах 175-185 мм. Максимальная интенсивность пучка, проходящего

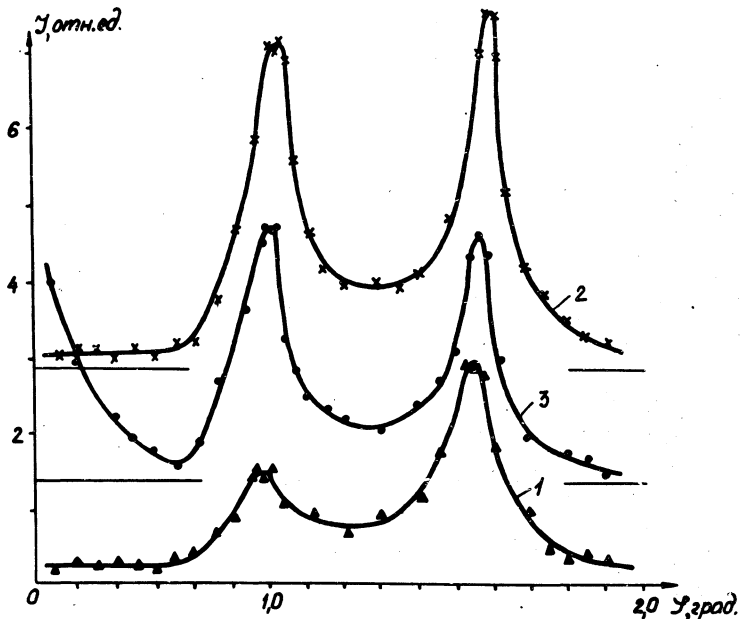


Р и с. 1. Схема экспериментальной установки. 1 - генератор излучения; 2, 4, 7 - диафрагмы; 3 - монохроматор; 5 - ограничивающий экран; 6 - образец; 8 - детектор

через просвет между экраном и измеряемой поверхностью, составляла $3 \cdot 10^6$ квант/с при угловой расходимости не более $2'$. Облучение осуществлялось характеристической линией CuK_α . В качестве образцов использовались пластины монокристаллов ниобата лития, плавленного кварца и стекла К8, изготовленные по четырнадцатому классу чистоты обработки поверхности.

Как видно из чертежа, коллимация падающего пучка осуществляется створками диафрагмы 3, краем образца, обращенным к источнику излучения, и ограничивающим экраном, которые и могут являться центрами паразитного рассеяния. С тем, чтобы оценить вклад в рассеянное излучение указанных участков измерительной схемы, регистрация диаграммы (см. рис. 2) последовательно осуществлялась в трех положениях: (1) экран расположен вблизи края образца, обращенного к источнику излучения; (2) экран расположен над центральным участком образца (рис. 1); (3) экран расположен вблизи края образца, обращенного к детектору излучения (соответствующие кривые на рис. 2 имеют те же номера). При этом линейный размер образцов в плоскости падения составлял 45 мм, просвет между измеряемой поверхностью и экраном $\sim 0,05$ мм, а угол скольжения $\sim 4^\circ_{\text{кр}}$.

Наблюдаемое появление АОМ (рис. 2) в рассматриваемом случае, очевидно, не может быть объяснено рассеянием на ограничивающих краях схемы с последующим отражением от измеряемой поверхности, а также предположениями 2) и 5). Действительно, в положении (3)



Р и с. 2. Диаграммы рассеяния от поверхностей плавленого кварца. Кривые 1, 2 и 3 соответствуют положениям (1), (2) и (3). Для большей наглядности кривые смещены по оси ординат на 1,5 деления.

налучение, рассеянное экраном и попадающее затем на исследуемую поверхность отражается в противоположную от детектора сторону, а рассеянное и преломленное на краю образца, начиная с некоторого угла $\varphi < \varphi_K$, поглощается экраном. Кроме того вследствие удаленности диаграммы 3, являющейся в плоскости падения точечным источником излучения, в падающем на измеряемую поверхность пучке практически отсутствуют лучи, скользящие под углами φ из

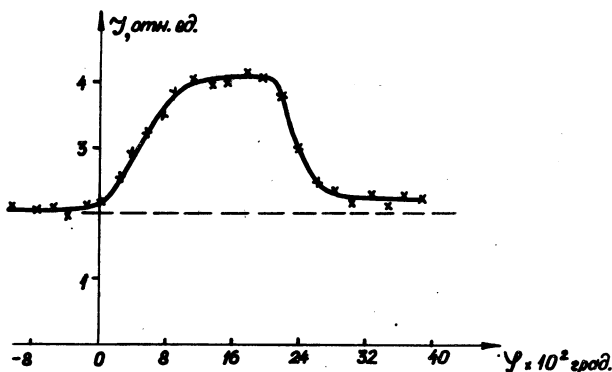
диапазонов $0 < \varphi < \varphi_K$ и $\varphi_K < \varphi < 2\varphi_K$, необходимые для реализации условий 2) и 5) соответственно. Оценки рассеяния излучения на воздухе, которые осуществлялись пропусканием пучка над измеряемой поверхностью при отрицательных углах разворота образца и детектора, показали, что этим вкладом в рассеяние можно пренебречь. Так, при интенсивности проходящего пучка $5 \cdot 10^6$ квант/с под углами рассеяния (2 + 3) φ_K не удалось обнаружить заметных отклонений регистрируемой интенсивности от собственного фона детектора (типичная величина фона была на 2-3 порядка меньше величины полезного сигнала в максимуме асимметричного отражения).

Полученные результаты позволяют предположить, что в исследуемом случае появление АОМ обуславливается факторами 3) и 4). Для исследования влияния указанных факторов были выбраны следующие условия наблюдения: угловое положение детектора, отсчитываемое от измеряемой поверхности образца, фиксировано и равно $6\varphi_K$, падающий на измеряемую поверхность поток излучения постоянен, диапазон углов скольжения $-\varphi_K/2 < \varphi < 2\varphi_K$ (угловой диапазон расширен в сторону отрицательных углов скольжения для отсеечения начального уровня фона). Линейный размер образца в плоскости падения составлял ~ 10 мм. Тогда, если рассеяние обусловлено в основном центрами, расположенными над отражающими участками поверхности, то при $\varphi > 0$ с увеличением угла скольжения интенсивность рассеянного излучения должна падать, так как путь излучения в эффективном слое, содержащем центры рассеяния, уменьшается. Напротив, при рассеянии в основном на неоднородностях, расположенных ниже среднего уровня поверхности, интенсивность рассеяния должна сначала возрастать, так как с увеличением угла скольжения увеличивается глубина проникновения и соответственно путь излучения в поверхностном слое, а затем при углах больших φ_K падать, поскольку основной поток излучения преломляется и попадает в более однородную толщу образца.

На рис. 3 приведены результаты измерений в указанных условиях, которые, очевидно, подтверждают справедливость второго предположения.

По изложенным выше методикам было исследовано в общей сложности около пятидесяти образцов, включая образцы различных оптических классов, и во всех случаях наблюдалось появление асим-

метрично отраженного максимума. Это позволяет заключить, что, во-первых, асимметричный пик является характерной особенностью зеркального отражения рентгеновских лучей от реальной поверхности, во-вторых, его появление обусловлено, в основном, рассеянием



Р и с. 3. Зависимость интенсивности рассеяния рентгеновских лучей от угла скольжения при фиксированном угле регистрации. Штриховой линией обозначен уровень фона

на неоднородностях плотности поверхностного слоя. Вполне вероятно, что при менее жестких условиях измерения определяющую роль в появлении асимметричного отражения могут играть другие факторы, например, 2) и 5).

Авторы приносят благодарность П. А. Бродскому за предоставленные образцы.

Поступила в редакцию
28 апреля 1977 г.

Л и т е р а т у р а

1. Y. Yoneda, Phys. Rev., 131, 2010 (1963).
2. A. Nigam, Phys. Rev., 135 A, 1189 (1963).
3. В. Е. Warren, J. S. Clarke, J. Appl. Phys., 36, 324 (1965).
4. J. B. Bindell, N. Wainfan, J. Appl. Cryst., 3, 503 (1970).
5. Б. М. Ровинский, В. М. Синайский, В. И. Сиденко, ФТТ, 14, № 2, 409 (1972).