

РЕНТГЕНОТОПОГРАФИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ НАПРЯЖЕНИЙ В КОЛЕБЛЮЩИХСЯ КРИСТАЛЛАХ КВАРЦА

В. И. АВУНДЖЯН, П. А. БЕЗИРГАНЯН

Методом рентгеновской дифракционной топографии исследовано влияние механических напряжений, возникающих в колеблющихся кварцевых брусках срезов ХУ и хуs/—18°30', на интенсивность рентгеновских дифракционных максимумов. Установлено, что рост интенсивности рентгеновского рефлекса при колебании кварца обусловлен только искривлением отражающих плоскостей.

В в е д е н и е

Увеличение интенсивности рентгеновских дифракционных максимумов, полученных от кристалла кварца, колеблющегося с резонансной частотой, впервые наблюдали Фокс и Карр [1] и исследовал ряд авторов [2—8].

Объяснение этого явления имеет важное значение для развития теории дифракции рентгеновских лучей от деформированных кристаллов. Кроме этого указанное явление позволяет экспериментально исследовать особенности колебаний кварцевых резонаторов.

Для изучения колебаний кварца разных срезов некоторыми авторами применен метод рентгеновской дифракционной топографии [9—11]. Так как рост интенсивности рентгеновских дифракционных максимумов связан с механическими напряжениями, возникающими в кварце при его колебании, то рентгенотопографический метод позволит картографировать распределение механических напряжений в колеблющемся с резонансной частотой кристалле кварца.

Ссылаясь на работы по динамической теории дифракции рентгеновских лучей от деформированных кристаллов, авторы статьи [12] считают, что рост интенсивности рентгеновского рефлекса при колебании кварца обусловлен как искривлением, так и изменением межплоскостного расстояния отражающих плоскостей. Однако эффект роста интенсивности при колебании кварца наблюдается как в высокосоввершенных образцах, так и в образцах невысокого совершенства, от которых не получают маятниковые полосы. Следовательно, применение выводов динамической теории к указанному явлению не оправдано.

В настоящей работе рентгенотопографическим методом исследовалось распределение и вид механических напряжений, приводящих к увеличению интенсивности рентгеновского рефлекса.

Э к с п е р и м е н т

Исследовались кварцевые бруски среза ХУ и среза хуs/—18°30' с размерами 3×3×30 мм³ и 3×3×40 мм³. Грани, перпендикулярные к оси Х, были посеребрены и токонесущие провода припаяны к серединам этих граней.

Распределение механических напряжений, устанавливающихся вдоль длины кристалла при его колебании с резонансной частотой, исследовалось методом рентгеновской топографии. Коллимированное двумя щелями шириной 0,1 мм (рис. 1) MoK_α -излучение, отражаясь от плоскостей призмы

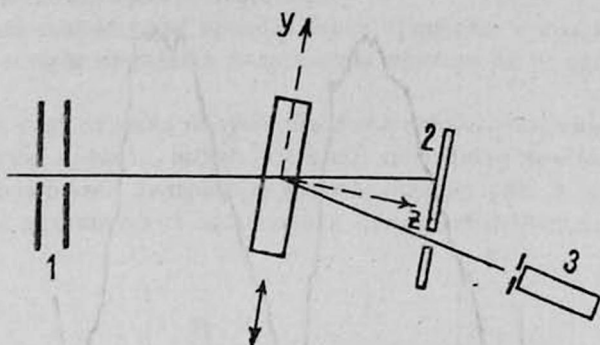


Рис. 1. Схема исследования распределения механических напряжений в кристаллическом бруске рентгенофотографическим методом: 1—щели, 2—кристалл, 3—счетчик.

($10\bar{1}0$) или ромбоэдра ($10\bar{1}1$) кристалла кварца, падало на сцинтилляционный счетчик и регистрировалось потенциометром ЭПП-09. Кристалл сканировался в плоскости YZ вдоль его длины.

Известно [13, 14], что если брусок среза XU колеблется с основной частотой вдоль длины, то в нем образуется стоячая волна (рис. 2). Каза-

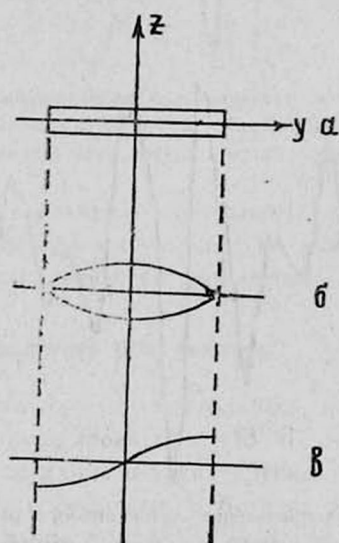


Рис. 2. Распределение механического напряжения (б) и смещения (в) в колеблющемся по длине кварцевом бруске (а).

лось бы, что распределение роста интенсивности дифрагированного рентгеновского пучка по длине бруска должно было быть аналогичным распределению механических напряжений. Однако, как видно из рис. 3, рост ин-

тенсивности дифрагированного от середины кристалла, где припаяны токонесущие провода, пучка практически не наблюдается. Такая картина напоминает распределение механических напряжений вдоль длины при колебании кристалла на второй гармонике.

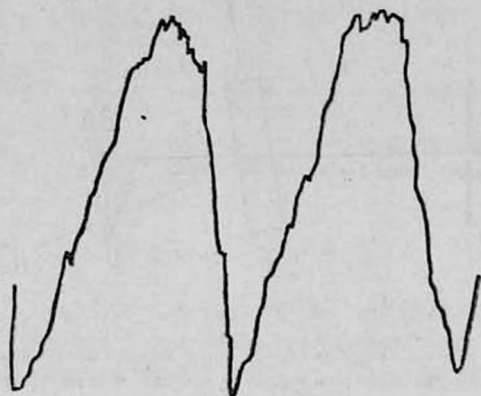


Рис. 3. Диаграмма распределения интенсивности рентгеновского рефлекса от колеблющегося по длине кварцевого бруска среза ХУ.

На рис. 4 приведена диаграмма распределения интенсивности дифрагированного пучка при подаче на кристалл напряжения с частотой второй гармоники. Вид этой диаграммы исключает объяснение распределения роста интенсивности, приведенного на рис. 3, колебаниями кристалла на второй гармонике.



Рис. 4. Диаграмма распределения интенсивности рентгеновского рефлекса от колеблющегося по длине с частотой второй гармоники кварцевого бруска среза ХУ.

Далее, исследовалось влияние электрических контактов (способа подвода переменного напряжения) на диаграмму распределения интенсивности в колеблющемся кристалле. Кристаллы приводились в состояние колебания при помощи следующих способов подвода напряжения:

- 1) прямые токонесущие провода были припаяны к середине кристалла;
- 2) токонесущие провода в виде мягких пружин были припаяны к середине кристалла;
- 3) при помощи мягких токонесущих пружин к посеребренным граням были прижаты металлические пластинки;
- 4) прямые токонесущие провода были припаяны к краям кристалла;
- 5) токонесущие провода в виде мягких пружин были припаяны к краям кристалла.

В первых трех случаях получились идентичные диаграммы (рис. 3), в четвертом случае провода, видимо, мешали свободным колебаниям, а в пятом случае получилась диаграмма, приведенная на рис. 5, напоминающая распределение механических напряжений при колебании с частотой третьей гармоники.

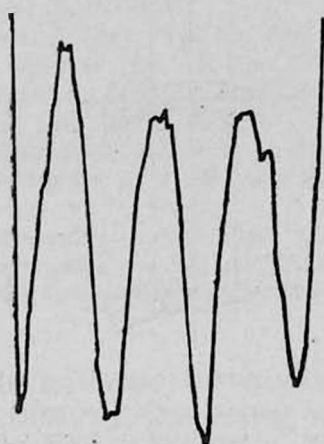


Рис. 5. Диаграмма распределения интенсивности рентгеновского рефлекса от колеблющегося по длине с основной частотой кварцевого бруска среза ХУ. Токонесущие провода в виде мягких пружин припаяны к краям бруска.

Аналогичные исследования проводились с кристаллами среза $\text{хуs}/-18^\circ 30'$. В этих кристаллах колебания по длине заметного роста интенсивности рентгеновского рефлекса не вызывали.

Обсуждение результатов

Известно [8, 14], что чистые продольные колебания по длине возбуждаются только в брусках среза $\text{хуs}/-18^\circ 30'$. Как указывалось выше, резонансные колебания по длине в таких брусках не вызывают роста интенсивности рентгеновского рефлекса. В брусках же среза ХУ при резонансных колебаниях по длине с основной частотой максимум роста интенсивности рентгеновского рефлекса получается в двух точках, находящихся от краев бруска на расстоянии около $1/4$ его длины (рис. 3 и 6а), хотя максимум механического напряжения устанавливается в середине кристалла (рис. 2).

Такая диаграмма роста интенсивности (рис. 6а) аналогична диаграмме распределения механических напряжений в брусках при колебаниях изгиба, когда максимумы напряжения располагаются в точках C_1 и C_2 (рис. 6б), отстоящих от концов на 0,224 его длины [14].

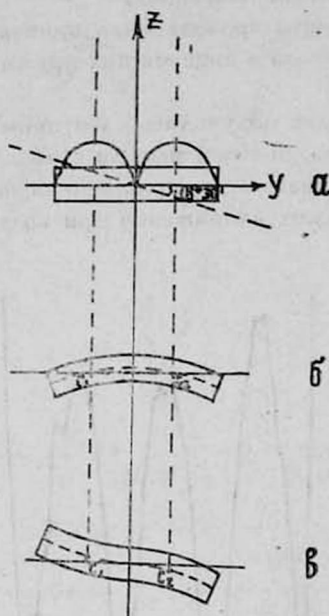


Рис. 6. Распределение механических напряжений (а) при колебаниях изгиба (б) и предполагаемая картина колебаний изгиба, происходящих в брусках среза ХУ (в), при его колебании по длине с основной частотой.

Возможность появления таких колебаний изгиба в брусках среза ХУ связана с тем, что в этих брусках модуль Юнга имеет минимальное значение в плоскости YZ в направлении, составляющем угол $18^\circ 30'$ с осью Y (рис. 6а). По этой причине в брусках указанного среза продольные резонансные колебания, видимо, можно рассматривать как наложение чистых продольных колебаний и колебаний сдвига, соответствующих рис 6в. В результате этого плоскости, отражающие рентгеновские лучи, помимо сдвига еще и искривляются. Этим искривлением должен быть обусловлен рост интенсивности рентгеновских рефлексов с максимумами в точках максимального искривления.

Наши предыдущие исследования показали [8], что по мере удаления направления нормали отражающих плоскостей от направления минимума модуля Юнга влияние колебаний на рост интенсивности уменьшается. Это объясняется тем, что чем ближе нормаль отражающих плоскостей к вышеуказанному направлению, тем большему искривлению подвергаются соответствующие плоскости.

Таким образом, вопреки предсказаниям работы [12], рост интенсивности рентгеновского рефлекса не зависит от изменения межплоскостного расстояния отражающих плоскостей при колебаниях кристалла независи-

мо от значения угла Брэгга. Для исследования зависимости роста интенсивности рентгеновского рефлекса от угла Брэгга рассматривались отражения различных порядков от одной плоскости и отражения от разных плоскостей.

Ереванский государственный
университет

Поступила 28.III.1975

ЛИТЕРАТУРА

1. G. W. Fox, P. H. Carr. Phys. Rev., 37, 1622 (1931).
2. M. Y. Colby, S. Harris. Phys. Rev., 42, 733 (1933).
3. G. W. Fox, W. N. Fraser. Phys. Rev., 47, 889 (1935).
4. J. Wetgle, K. Bleuler. Helv. Phys. Acta, 15, 445 (1942).
5. J. E. White. J. Appl. Phys., 21, 855 (1951).
6. M. Kuriyama, J. Miyakawa. J. Appl. Phys., 40, 1967 (1969).
7. П. А. Безирянян, В. И. Авунджян. Изв. АН АрмССР, Физика, 2, 244 (1967).
8. В. И. Авунджян, П. А. Безирянян. ДАН АН АрмССР, 42, 284 (1966).
9. W. J. Spencer. Appl. Phys. Lett., 2, 133 (1963).
10. A. L. Bennett, R. A. Young, N. K. Hearn. Appl. Phys. Lett., 2, 54 (1963).
11. A. G. Greenhaur, B. J. Isherwood, G. A. Wallace. Brit. J. Appl. Phys., 16, 1759 (1965).
12. R. A. Young, C. E. Wagner. Brit. J. Appl. Phys., 17, 723 (1966).
13. А. В. Шубников. Кварц и его применение, Изд. АН СССР, Л., 1940.
14. У. Кэди. Пьезоэлектричество и его практическое применение, Изд. ИЛ, М., 1949.

ՏԱՏԱՆՎՈՂ ԿՎԱՐՑՅԱ ԲՅՈՒՐԵՂՆԵՐՈՒՄ ՄԵԽԱՆԻԿԱԿԱՆ ԼԱՐՈՒՄՆԵՐԻ ՈՒՍՈՒՄՆԱՍԻՐՈՒԹՅՈՒՆԸ ՌԵՆՏԳԵՆՅԱՆ ՏՈՊՈԳՐԱՖԻԱՅԻ ԵՂԱՆԱԿՈՎ

Վ. Ի. ՀԱՎՈՒՆԶՅԱՆ, Պ. Հ. ԲԵԶԻՐԳԱՆՅԱՆ

Ռենտգենյան դիֆրակցիոն տոպոգրաֆիայի եղանակով ուսումնասիրված է XY և xy — $18^\circ 30'$ կտրվածքի տատանվող կվարցյա շրտուներում առաջացող մեխանիկական լարումների ազդեցությունը ռենտգենյան դիֆրակցիոն մաքսիմումների ինտենսիվության վրա: Ցույց է տրված, որ կվարցի տատանման ժամանակ ռենտգենյան ռեֆլեքսի ինտենսիվության աճը պայմանավորված է միայն անդրադարձնող հարթությունների կորացմամբ:

X-RAY TOPOGRAPHIC STUDY OF MECHANICAL STRESSES IN OSCILLATING QUARTZ CRYSTALS

V. I. HAVUNDZHYAN, P. H. BEZIRGANYAN

The effect of mechanical stresses in oscillating quartz XY and xy — $18^\circ 30'$ cut rods on the intensity of X -ray diffraction maxima is studied by the X -ray diffraction topographic method. The increase of the intensity of X -ray diffraction maximum from an oscillating quartz rod is shown to be due only to the distortion of reflecting planes.