УДК 548.732

УПРАВЛЯЕМАЯ ПЕРЕБРОСКА РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ В ШИРОКОЙ ОБЛАСТИ ЧАСТОТ ПЬЕЗОКОЛЕБАНИЙ

М. А. НАВАСАРДЯН, В. К. МИРЗОЯН, К. Г. ГАЛОЯН

Институт прикладных проблем физики АН АрмССР

При возбуждении ультразвуковых колебаний в совершенном моңопристалле кварца осуществлено управляемое изменение интенсивности стреженного и проходящего рентгеновских пучков (K_{x_1} - и K_{x_2} -линии молибдена) в геометрии Лауэ, когда используются разные плоскости отражения, при разных частотах пьезоколебаний. При этом интенсивность отраженного пучка увеличивается многократно (кратиссть увеличения интенсивности вевисит от типа отражающих атомных плоскостей) и наступает насыщение.

Вопрос влияния на интенсивность дифрагированного рентгеновского излучения внешним воздействием, являющийся одним из актуальных вопросов рассеяния рентгеновского излучения в кристаллах, рассмотрен во многих экспериментальных и теоретических работах [1—16].

В работе [3] содержится небольшой обзор исследований такого характера, в которых показано, в частности, что если в случае аномального прохождения ($\mu t \ge 10$) наблюдается уменьшение интенсивности как дифрагированного, так и отраженного пучков (увеличивается коәффициент поглощения кристалла), то при $\mu t \sim 1$ наблюдается увеличение интенсивности отраженного пучка за счет проходящего пучка (μ — линейный коәффициент поглощения кристалла, t — толщина кристалла).

В работах [1—3] впервые наблюдалась полная переброска (ПП) интенсивности проходящего монохроматического рентгеновского пучка от направления прохождения в направление отражения в геометрии Лауэ. Эффект ПП наблюдался в случаях, когда на отражающем монокристалле создавался температурный градиент определенного направления или возбуждались ультразвуковые колебания резонансной частоты на кристаллах кварца X-среза.

В работе [7] принципиально новым способом осуществлено перераспределение интенсивности и зарегистрирована сравнительно большая переброска проходящего излучения в направление отражения. В работе [9] обнаружен новый эффект—эффект резонансной переброски излучения с одной ветви дисперсионной поверхности на другую. В результате такой переброски, когда длина волны УЗ колебаний совпадает с межветвенным расстоянием дисперсионной поверхности в обратном пространстве, резко увеличивается коэффициент поглощения образца при аномальном режиме дифракции.

Целью настоящей работы является создание такого режима работы системы кристалл-излучение, при котором стала бы возможной управляемая УЗ колебаниями в широкой области частот переброска проходящего излучения в направление отражения.

В качестве рассеивателя использовались плоские кварцевые диски диаметром 20 мм и толщиной 0,5 мм, торцевые поверхности которых были параллельны атомным плоскостям (1120). Атомными плоскостями, отражающими K_a -линии молибдена, являлись плоскости (1011), (1011). (2022) и т. д., ориентированные перпендикулярно к торцам образца. Понятно, что в процессе эксперимента они имели вертикальную ориентацию. Исследования проводились на дифрактометре ДРОН-3. Для возбуждения УЗ колебаний в объеме монокристалла кварца на торцевые поверхности образца заранее наносились металлические электроды, посредством которых подавались электрические колебания синусоидальной формы.

Геометрия эксперимента представлена на рис. 1*a*, *b*. На рис. 2*a*, *b* представлены фронты проходящих (T_a и T_b) пучков, когда в кристалле возбуждались поперечные ультразвуковые колебания, частота которых совпадала с частотой самовозбуждения пьезокристалла (или была близка к ней), а именно, $\omega \approx 5,72$ МГц. На рис. 2*a* хорошо видно, что центральные части обоих K_{a_1} - и K_{a_2} -пучков практически пусты, а на рис. 2*b* пустует центральная часть только K_{a_2} -пучка, тогда как K_{a_1} -пучок не претерпевает аналогич-







Рис. 1. Схема эксперимента при разных режимах: a) режим (1, —1); б) отражение от П-образного монолитного кристалла (отношение интенсивностей пучков 1 и 2 есть 1:9, расстояние блоков равно 15 мм); в) режим (1, 1). Рис. 2. Поперечное сечение проходящих пучков: a) при схеме (1, —1), когда амплитуда электрических колебаний, подаваемых на образец, составляет 70 В и выше; б) при схеме (1, 1) или (1, —1) без колебаний образца; в) при схеме (1, 1), когда амплитуда электрических колебаний составляет 70 В и выше.

ных изменений, которые связаны с геометрией эксперимента. Такой проходящий пучок наблюдался как для (1011), так и для (1011) отражений. Насыщение интенсивности отраженных пучков, которое наблюдается при ПП, наступает в случае, когда амплитуда колебаний электрического чапряжения составляет 70 В. При ПП суммарная энергия проходящего и отраженного пучков остается постоянной. Несмотря на то, что плоскости (1011) и (1011) ориентированы одинаково по отношению к кристаллографическим осям, тем не менее в некотором смысле они ведут себя неэквивалентно. Так, например, несмотря на то, что интенсивность проходящего пучка полностью перебрасывается в направление отражения, их интенсивности увеличиваются неодинаково, т. е. коэффициенты увеличения интенсивностей для (1011) и (1011) разные и равны соответственно 10 и 7. Это обусловлено тем, что начальные интенсивности этих отражений, как известно [17], не равны между собой:

$$I_{(10\bar{1}1)} = 0, 7 \cdot I_{(\bar{1}011)}$$

Отношение интенсивностей отраженного и проходящего пучков (до возбуждения кристалла) в одинаковом угловом интервале составляло 1:9 и 1:6 соответственно для плоскостей (1011) и (1011). Оно измерялось с помощью монолитного П-образного кристалла (рис. 16), в котором первый блок служит для получения монохроматического пучка, а второй предназначен для того, чтобы получить истинное соотношение интенсивностей отраженного (1) и проходящего (2) монохроматических пучков.

После оценки интенсивностей отраженного и проходящего пучков. Побразным блоком дальнейшие исследования проводились на кристаллах с автономными манипуляциями, т. е. монохроматор и исследуемый кристалл.

Рис. 3. Интенсивность отраженного пучка без УЗ колебаний на образце (б): график изменения интенсивности отраженного пучка при плавном измепении частоты колебаний образца вблизи резонансной частоты кристалла (а); по горизонтальным осям отложены время в секундах и частота колебаний образца в МГц.



действовали независимо. Отраженный от исследуемого кристалла пучок претерпевал большие изменения и при других частотах пьезовлектрических колебаний образца вне резонанса. На рис. 3 представлен график изменения интенсивности отраженного пучка при изменении частоты пьезовлектрических колебаний образца (вблизи области резонансной частоты самогенерации). Как следует из приведенного рисунка, при некоторых частотах наблюдаются максимумы, обусловленные дополнительными резонансами пьезорезонатора. Скорость варьирования частоты при получении этого графика составляла 50 кГц/с. С изменением места падения пучка без нарушения условия отражения меняется и частота т. н. «главного резонанса» пьезоколебаний, приводящая к «полной переброске» излучения.

Если получать отражения от высоких порядков атомных плоскостей (1011), т. е. от плоскостей (2022) и (3033), то хотя абсолютное изменение интенсивности отраженного пучка при этом несравненно меньше, но эти отражения оказываются более чувствительными к УЗ колебаниям. Они хорошо реагируют также и при других частотах вне резонансной области. Интенсивности этих рефлексов мало отличаются друг от друга для резонансных и нерезонансных областей (развертка по частоте). Так, например, для рефлекса (3033) интенсивность отраженного пучка при собственном резонансе больше интенсивности вне резонанса на 15%, тогда как для первого порядка отражения (1011) наблюдается десятикратное увеличение интенсивности отраженного пучка (вне резонанса в первом порядке отражения колебания кристалла мало меняет интенсивность отраженного пучка).

В настоящем эксперименте акустическая волна распространяется по толщине образца, в котором основное смещение атомов происходит в отражающей плоскости. Такое смещение не должно влиять на интенсивность отраженного пучка, так как оно не создает необходимый сдвиг фаз. Не-СМОТРЯ НА ЭТО. ИЗМЕНЕНИЕ ИНТЕНСИВНОСТИ ОТРАЖЕННОГО ПУЧКА ВСЕ-ТАКИ НАблюдается, и это, по-видимому, можно объяснить следующим образом. Пои больших амплитудах колебания кристалла смещение атомов происходит также и в перпендикулярном к отражающим атомным плоскостям направлении, и это смещение оказывается достаточным, чтобы при большой величине приложенного напряжения проходящий пучок полностью перешел в направление отражения. Для того, чтобы имела место ПП, достаточно. чтобы относительное смещение межплоскостного расстояния отражающих атомных плоскостей составляло $\varepsilon = 10^{-3}$. По-видимому, таким же способом можно объяснить и пороговый характер влияния ультразвука. Дело в том, что интенсивность отраженного пучка претерпевает изменение, когда амплитуда колебаний напряженности электрического поля превышает определенное значение (1,7 В/см). Это означает, что именно пои таком пороговом значении напояженности компонента смещения атомов вдоль нормали отражающих плоскостей становится достаточно большой, чтобы влиять на интенсивность отраженного пучка.

Причина высокого уровня насыщения интенсивности отраженного от колеблющегося кристалла пучка вплоть до уровня полной переброски с первого взгляда кажется не вполне понятной, поскольку при синусоидальном законе колебаний кристалла атомы смещаются как в прямом, так и в обратном направлениях, причем смещения принимают разные значения, включая и нулевые. Полное отражение при наличии УЗ колебаний, по-видимому, можно объяснить, исходя из того, что, во-первых, при больших градиентах механических напряжений выполняется закон Фриделя, а при меньших градиентах он не выполняется [14], во-вторых, при насыщающем значении напряжения почти в любой точке синусоиды, кроме нулевых и очень близких к ним областей (в любой момент времени), смещения атомов достаточны, чтобы кристалл работал в режиме насыщения — полной переброски, т. е. при синусоидальном законе изменения напряжения U на кристалле (рис. 4) интенсивность I отраженного от кристалла пучка в течение всего периода остается постоянной (кроме вышеуказанных областей синусоиды).



Рис. 4. Почти для каждой точки синусонды электрического напряжения U интенсивность отраженного пучка I находится в области насыщения.

При сравнении интенсивностей рефлексов, полученных от разных порядков отражения ((1011), (2022), (3033)) при одинаковых величинах создействия, становится ясным, что конечная интенсивность отраженного от этих плоскостей пучка при возбуждении кристалла УЗ колебаниями пропорциональна начальной отражающей способности этих плоскостей кристалла. Высокая чувствительность в нерезонансной области при высоком порядке отражения свидетельствует о том, что малые смещения атомов в направлении нормали к отражающим плоскостям при больших углах скольжения могут привести к большому относительному сдвигу фаз интерферирующих пучков.

Таким образом, интенсивность отражения от разных атомных плоскостей ((1011), (1011)) можно изменять произвольно и в широких пределах, вплоть до полной переброски проходящего излучения в направление отражения.

Анализируя все результаты, приходим к выводу, что эффект полной переброски сильно ограничивает сферу действия структурного фактора в вопросах дифракции рентгеновского излучения в совершенном монокристалле при искусственно созданных в нем искажениях, и фактически структурный фактор не определяет интенсивность дифрагированного пучка.

Таким образом, используя эффект полной переброски в широком диапазоне частот вблизи собственной частоты пьезоколебаний, можно управлять интенсивностью рентгеновского излучения и модулировать ее легко доступным для практических целей способом. Эти результаты могут найти применение при контроле качества или изучении пьезокристаллических резонаторов в процессе их работы, без повреждения или разрушения последних.

ЛИТЕРАТУРА

- 1. Мкртчян А. Р., Навасардян М. А., Мирзоян В. К. Письма в ЖТФ. 8, 677 (1982)...
- 2. Мкртчян А. Р. и др. Тезисы докладов II Всесоюзного совещания по методам и аппаратуре для исследований когерентного взаимодействия излучения с веществом, Ереван, 1982.
- 3. Мкртчян А. Р. и др. Письма в ЖТФ. 9, 1181 (1983).
- 4. Haruta K. J. Appl. Phys., 38, 3312, (1967).
- 5. Fox G. W., Fraser W. A. Phys. Rev., 47, 899 (1935).
- 6. Навасардян М. А., Назарян Ю. Р., Мирзоян В. К. Изв. АН АрмССР, Физика. 14, 425 (1979).
- 7. Балаханов М. В. Труды ВНИИ ФТРИ, вып. 38 (68), 1978.
- 8. Nishikawa S., Sakisaka J., Sumato I. Phys. Rev., 38. 1078 (1931); 43, 363 (1933).
- 9. Энтин И. Р. Письма в ЖЭТФ, 26, 392 (1977).
- 10. Spenser W. J. Appl. Phys. Lett., 2, 133 (1963).
- 11. Bennet A. L., Joung R. A., Hearn N. K. Appl. Phys. Lett., 2, 154 (1963).
- 12. Kato N. J. Phys. Soc. Japan, 19, 670 (1971).
- 13. Тихонова Е. А. Металлофизика, 2, 32 (1980); 2, 34 (1980); 3, 18 (1981).
- 14. Навасардян М. А., Караханян Р. К., Безирганян П. А. Кристаллопрафия, 15, 235 (1970).
- 15. Spenser W. J., Pearman G. T. Adv. X-ray Anal., 13, 507 (1970).
- Пинскер Э. Г. Динамическое рассеяние рентгеновских лучей в идеальных кристаллах. Изд. Наука, М., 1974.
- 17. Жданов Г. С., Илюшин А. С., Никитин С. В. Дифракционный и резонансный структурный анализ. Изд. Наука, М., 1980.
- Глюкман Л. И. Пьезовлектрические кварцевые резонаторы. Изд. Энергия, Ленинпрад, 1969.

ՌԵՆՏԳԵՆՅԱՆ ՃԱՌԱԳԱՑԹՆԵՐԻ ԿԱՌԱՎԱՐՎՈՂ ՎԵՐԱՄՂՈՒՄԸ ԳՅԵԶՈԷԼԵԿՏՐԱԿԱՆ ՏԱՏԱՆՄԱՆ ՀԱՃԱԽՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ԼԱՅՆ ՏԻՐՈՒՑԹՈՒՄ

Մ. Ա. ՆԱՎԱՍԱՐԴՑԱՆ, Վ. Ղ. ՄԻՐԶՈՑԱՆ, Կ. Գ. ԳԱԼՈՑԱՆ

Կվարցի կատարյալ թյուրնղում իրականացված է անցնող ռենտգենյան ճառագայինան կառավարվող անդրադարձում Լաուե դիֆրակցիայի դեպքում, երբ թյուրեղը կատարում է ուլտրաձայնային տատանումներ ինջնագեներացիայի ռեժիմում, ինչպես նաև այդ ճաճախության ճարակից տիրույթում։ Օգտագործվող սինուսոիդալ էլեկտրական տատանման մաքսիմալ էֆեկտիվ ամպլիտուդան եղել է 70 Վ, Վերամղման աստիճանը կախված է լարման ամպլիտուղայից։ Աշխատանբում օգտագործված են մոլիրդենի ճառագայթեման մոնոքրոմատիկ K_{a_1} և K_{a_2} պծերը, որոնց ճամար բավարարվում է բարակ բյուրեղի լլ<1(որտեղ µ-նյութի գծային կլանման գործակիցն է տրվածալիքի երկարության ճամար, <math>1-նմուշի ճաստությունն է) պայմանը։

CONTROLLED X-RAY PUMPING IN A WIDE RANGE OF PIEZO-ELECTRIC OSCILLATION FREQUENCIES

M. A. NAVASARDYAN, V. K. MIRZOYAN, K. G. GALOYAN

In case of Laue diffraction the transmitted X-ray reflection is shown to be effectively controllable in the perfect quartz single crystal when it generates ultrasonic oscillations at the resonance frequency or in its vicinity. The maximum effective amplitude of applied sinusoidal oscillations is equal to 70 V. The pumping degree depends on the voltage amplitude. In this work monochromatic K_{z_1} and K_{z_2} molybdenum lines satisfying the thin crystal condition, $\mu t > 1$, are used (μ is the linear absorption coefficient of the sample for the given wavelength and t is its thickness). The radiation was reflected from different planes such as (1011), (1011), (2022) etc. The complete pumping strongly restricts the structural factor possibilities in estimating the intensity of diffracted X-rays in case of considerable deformations in thebulk of perfect single crystal.