

08; 12

© 1990

НАБЛЮДЕНИЕ СТОЯЧИХ ПОВЕРХНОСТНЫХ
АКУСТИЧЕСКИХ ВОЛН В КРИСТАЛЛАХ МЕТОДАМИ
РЕНТГЕНОВСКОЙ ТОПОГРАФИИО.П. Алешко-Ожевский, А.С. Погосян,
В.В. Лидер, В.И. Пышняк

При работе приборов, использующих поверхностные акустические волны (ПАВ) в кристаллах, существенным является сохранение прямолинейности фазового фронта возбужденной волны при достижении им приемного устройства после прохождения волны через кристалл. Искажения фронта, причиной которых могут быть различные искусственные и естественные дефекты поверхности кристалла (дарапины, включения других фаз, кристаллические двойники, малоугловые границы блоков и др.), отрицательно сказываются на характеристиках принятого приемным устройством сигнала. В связи с этим, наблюдение фронта и его изменений при взаимодействии с различными дефектами поверхности кристалла является актуальной задачей, решение которой позволяет установить как критерии необходимого качества реальной структуры кристаллов, используемых для создания приборов, так и критерии их обработки. Для решения этой задачи необходима визуализация фазового фронта быстро распространяющейся по кристаллу волны при одновременном наблюдении дефектов поверхности.

Рентгеновская дифракционная топография является чувствительным инструментом как для исследования совершенства поверхности, так и для определения некоторых характеристик ПАВ и области их распространения в кристалле [1, 2]. Для наблюдения фронта ПАВ в работе [3] была использована стробоскопическая методика, использующая пульсирующую во времени структуру интенсивности синхротронного излучения. Если частота ПАВ равна или кратна частоте пульсации синхротронного излучения, то можно наблюдать эффект стробоскопии, при котором фронт последующих волн во время очередных всплесков синхротронного излучения оказывается точно в месте предыдущих, и бегущие волны выглядят остановившимися. К недостаткам осуществления этой методики следует отнести необходимость иметь синхротронное излучение с удобной временной структурой, при которой эффект стробоскопии мог бы быть осуществлен.

Цель данной работы — показать, что для решения задачи наблюдения взаимодействия фронта бегущих ПАВ с дефектами кристалла могут быть использованы стоячие ПАВ, возбужденные в кристалле двумя системами встречных бегущих волн одинаковой частоты.

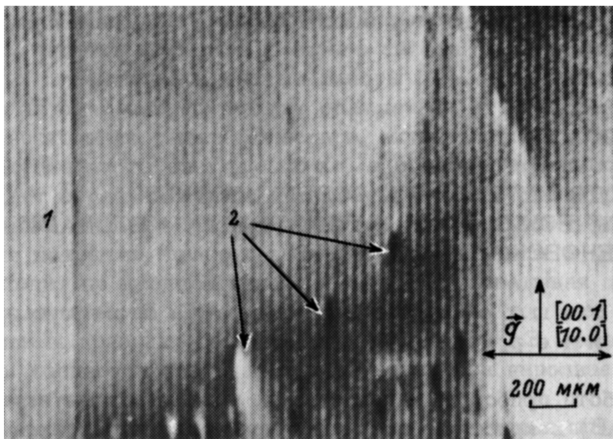


Рис. 1. Топограмма стоячих ПАВ в кристалле кварца. Частота возбуждения – 30.5 МГц. Рефлекс – (03.0). Стрелками указаны направления кристаллографических осей и проекции вектора дифракции \vec{g} . 1 – область кристалла с ВШП, 2 – места выхода на поверхность дислокаций.

Исследовались акустоэлектронные линии задержки на основе У-срезов кристаллов кварца и ниобата лития. Используемые резонансные частоты составляли 30.5 и 46 МГц соответственно. Были опробованы две рентгено топографические методики – однокристалльная методика „на отражение“ со сканированием образца и фотопластинки и двухкристалльная методика, при которой падающий на образец пучок рентгеновского излучения предварительно коллимировался и уширялся до 2 мм асимметричным отражением от системы плоскостей (311) монохроматора $Ge(211)$. Использовалось $CuK\alpha$ –излучение от рентгеновской трубки 1,5БСВ-29. Дифрагированное от образца излучение регистрировалось на фотопластинках для ядерных исследований типа Р-50. Поверхностные акустические волны в кристаллах возбуждались встречно-штыревыми преобразователями (ВШП), на которые подавался синусоидальный сигнал с амплитудой ~ 5 В от генератора Г4-143. Для возбуждения стоячих ПАВ сигнал от генератора одновременно подавался как на передающие, так и на принимающие ВШП. Такая схема обеспечивала одинаковую частоту возбуждаемых бегущих встречных ПАВ и практически постоянные значения амплитуды и периода стоячих ПАВ в случае отсутствия их взаимодействия с дефектами.

На рис. 1 представлена топограмма стоячих ПАВ на кристалле кварца, полученная двухкристалльной методикой. Фронт волн перпендикулярен направлению их распространения, совпадающему с кристаллографической осью $[10.0]$. Рентгеновский пучок падал под углом $\sim 4-5^\circ$ по отношению к поверхности кристалла при угле

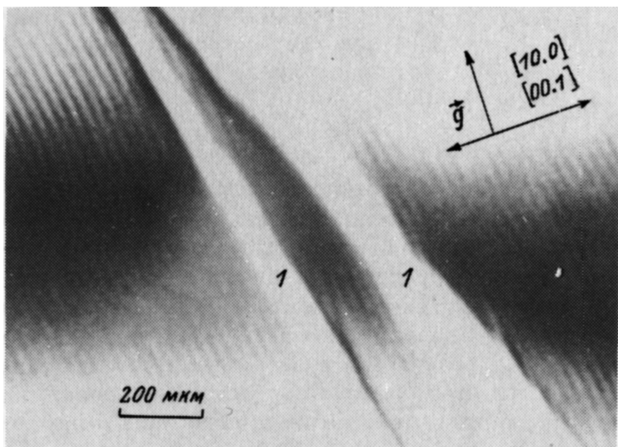
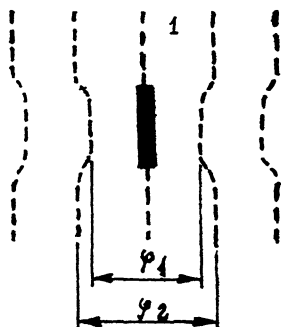


Рис. 2. Топограмма стоячих ПАВ в кристалле ниобата лития. Частота возбуждения - 46 МГц. Рефлекс - (03.0). 1 - изображения царапин.

Брэгга $\sim 31^\circ$. Такая геометрия позволяла освещать монохроматизированным пучком практически всю поверхность кристалла. Из рис. 1 видно, что наблюдаемый на топограмме период стоячих волн (38 мкм) соответствует расстоянию между штырями ВШП (фрагмент 1). Это подтверждает, что стоячая волна по сравнению с бегущей имеет период в два раза меньше. Светлые полюсы соответствуют узлам колебаний, а темные - пучностям. На картине присутствуют изображения концов дислокаций (фрагмент 2) при их выходе на поверхность, имеющие вид пятен с белым, черно-белым или черным контрастом. Эти изображения несколько искажены контрастом стоячих волн, но видно, что фронт самих стоячих волн практически не меняется вблизи дефектов этого сорта. С другой стороны, топограмма стоячих ПАВ на поверхности кристалла ниобата лития (рис. 2) показывает значительные искажения фронта стоячих волн вблизи двух царапин (фрагмент 1) на поверхности кристалла. Угол скольжения рентгеновского пучка к поверхности кристалла составлял около 9° при угле Брэгга $\sim 35^\circ$. Исследования других образцов ниобата лития, содержащих малоугловые границы блоков, показали, что при их прохождении заметных изменений фазы фронта не происходило.

Если на пути бегущих ПАВ встречается какой-либо дефект, изменяющий фазу фронта проходящих волн, то вблизи него с двух сторон должно наблюдаться искажение прямолинейного распределения стоячих волн (рис. 3). Изменение фазы бегущей волны ($\Delta\varphi$) можно оценить, как $\Delta\varphi = \varphi_2 - \varphi_1$, где φ_1 и φ_2 - измеренные значения разности фаз между выбранными стоячими волнами на участках их фронта, подвергшихся взаимодействию с дефектом и без

Рис. 3. Распределение стоячих волн в кристалле около дефекта 1 для случая задержки на нем фазового фронта ПАВ.



него соответственно. В случае взаимодействия волн с дефектами картина стоячих волн не полностью соответствует мгновенному распределению бегущих волн, хотя и отражает характер изменений их фронта. Следует учитывать, что период стоячих волн в два раза меньше, чем бегущих, а

их амплитуда является суммой амплитуд встречных волн.

Из исследования картины контраста стоячих волн могут быть определены не только сдвиги фаз бегущих волн, но и значения их локальных амплитуд. Поскольку длина волны рентгеновского излучения много меньше, чем у излучения лазеров, то можно ожидать и более высокой точности определения амплитуд по сравнению с методами лазерной интерферометрии. Для такого анализа можно воспользоваться выражениями интенсивности рентгеновского излучения с учетом геометрии рассеяния лучей, как это сделано в работе [3] при исследовании контраста стробоскопического изображения бегущих волн. Данные для разделения суммы амплитуд бегущих волн в стоячей волне могут быть получены из электрометрических измерений амплитуд на входе и выходе устройства, возбужденных поочередно в используемых ВШП.

Поверхностные акустические волны создают периодическое искривление кристаллической решетки поверхностного слоя кристалла. При обычной однокристалльной методике получения топограммы расходимость падающего рентгеновского пучка составляет величину порядка 1 угл. мин, что не позволяет наблюдать индивидуальные стоячие волны. Причиной этого является участие в процессе дифракции от искаженной поверхности кристалла большего (по сравнению со случаем неискаженной поверхности) числа лучей из углового интервала расходимости. При значениях периода стоячих волн порядка 50–100 мкм и расстоянии от образца до фотопластинки порядка 2–4 см это приводит к перекрытию изображений волн от лучей, дифрагированных в различных направлениях. Для уменьшения этого эффекта в однокристалльной методике между образцом и фотопластинкой на пути дифрагированного пучка были установлены неподвижно две дополнительные коллимирующие щели шириной около 20 мкм на расстоянии 2 см одна за другой. Фотопластинка располагалась перпендикулярно дифрагированному пучку, а сканирование ее и образца относительно падающего пучка производилось в направлении поверхности образца. На полученных этим способом топограммах наблюдались стоячие волны, однако их геометрическое разрешение было значительно хуже, чем в двухкристалльной методике. Кроме того, наличие узких щелей приводило к появлению дефек-

тов сканирования. Светосила однокристалльного метода оказалась в 60–80 раз меньше, чем у двухкристалльного, что выражалось в увеличении времени экспозиции для получения одной топограммы до 20 час по сравнению с 15–20 мин для случая двухкристалльной методики.

Таким образом, рентгеновская топография стоячих ПАВ позволяет исследовать взаимодействие бегущих ПАВ с дефектами поверхности кристалла. В отличие от стробоскопической топографии методика со стоячими ПАВ позволяет исследовать кристаллические устройства с любыми частотами ультразвука. Возможные ограничения методики для устройств с частотами большими 100 МГц связаны с разрешением малых периодов на фотопластинках. Эта трудность может быть преодолена путем использования для регистрации топограмм фоторезистов типа РММА, на которых можно получить субмикронное разрешение. Несмотря на то что их чувствительность на порядок меньше, чем у фотопластинок, высокая светосила двухкристалльной методики позволит получать на них топограммы за несколько часов.

С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] Адхамов А.А., Шкляр А.Н., Бондаренко В.С. и др. // ФТТ. 1981. Т. 23. № 6. С. 1689–1693.
- [2] Погосян А.С., Алешко-Ожевский О.П., Чуховский Ф.Н., Калашникова И.И. // ФТТ. 1990. Т. 32. № 4. С. 1224–1226.
- [3] Serwa H., Graeff W. // Phys. Stat. Sol. (a). 1984. V. 82. С. 34–45; 1985. V. 87. С. 507–516.

Институт кристаллографии
АН СССР им. А.В. Шубникова,
Москва

Поступило в Редакцию
7 мая 1990 г.

Письма в ЖТФ, том 16, вып. 17 12 сентября 1990 г.
06.2; 06.3; 07

© 1990

О ВОЗМОЖНОСТИ ГЕНЕРАЦИИ СТИМУЛИРОВАННОГО
ИЗЛУЧЕНИЯ С ПОМОЩЬЮ
УДАРНО-ИОНИЗАЦИОННЫХ ВОЛН В ПОЛУПРОВОДНИКАХ

И.В. Греков, В.М. Ефанов

Необходимым условием возбуждения мощного стимулированного излучения в полупроводниках является создание достаточно боль-