

## ВАРИАЦИЯ СКОРОСТИ ОБЪЕМНОЙ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ВОЛНЫ В КРИСТАЛЛАХ СИНТЕТИЧЕСКОГО КВАРЦА

*Данилова Г. В., Дубовский А. Б., Филиппов И. М., Фотченков А. А.*

Вариацию упругих свойств кристаллов кварца [1, 2] необходимо знать при расчете параметров ультразвуковых линий задержки.

В настоящей работе приводятся данные по измерениям скоростей объемной сдвиговой волны ( $v_3$ ) для кристаллов кварца, выращенных на затравочных пластинках X-среза. В зависимости от условий выращивания добротность материала положительной тригональной призмы, используемой для изготовления звукопроводов объемных УЛЗ, была в пределах  $0,3 \cdot 10^6 - 8,5 \cdot 10^6$ .

Для измерения  $v_3$  изготавливались образцы прямоугольной формы с размером ребер не менее 30 мм. Точность ориентировки образцов не хуже  $\pm 1'30''$ , непараллельность противоположных граней не превышала  $\pm 1$  мкм, шероховатость поверхности 0,125. Максимальная ошибка абсолютного значения  $v_3$  импульсно-фазовым методом [3, 4] на частоте 22 МГц составляла  $2,5 \cdot 10^{-5}$  относительного изменения  $v_3$  по толщине образца  $-0,5 \cdot 10^{-5}$ . Использовалась поперечная волна с вектором смещения вдоль оси X, которая распространяется в плоскости YZ-кварца.

Абсолютные значения  $v_3$  для различных образцов синтетического кварца сравнивались с  $v_3$  в образце из природного кристалла сорта «Экстра» оптического качества. Измерение  $v_3$  по толщине образца проводилось с шагом 1 мм при ширине электрода излучающего преобразователя 2 мм путем перемещения преобразователя от плоскости YZ-образца со стороны, примыкавшей к затравочной пластине. Значения относительного изменения  $v_3$  по толщине образца рассчитывались для его средней части, где краевые эффекты не искажают результаты измерения. Для использованного электрода и максимального размера образца в направлении распространения

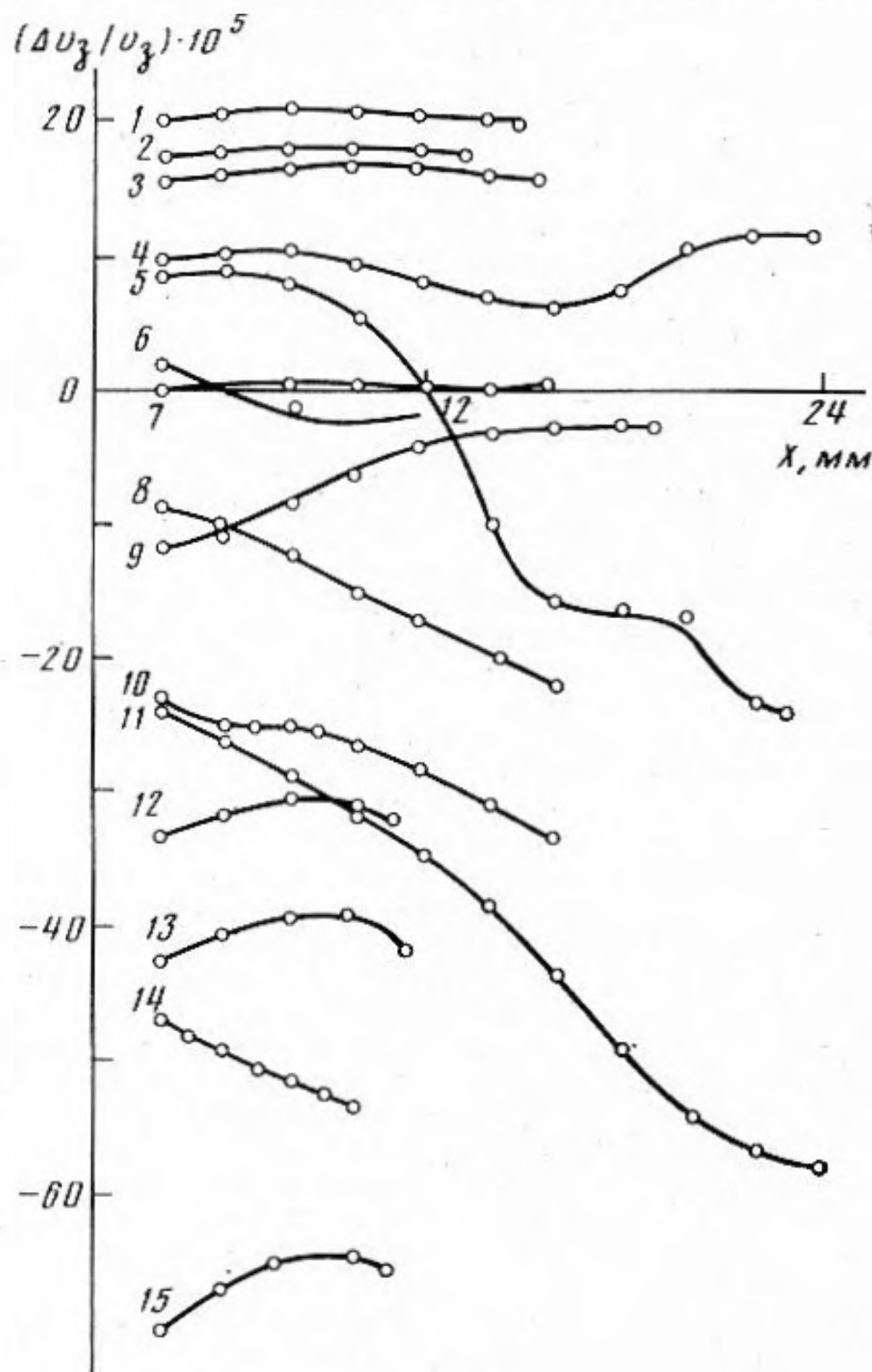


Рис. 1. Изменение скорости объемной сдвиговой ультразвуковой волны, распространяющейся вдоль оси Y, в кристаллах кварца: 1-6, 8-13 — синтетический кварц, 7 — природный кристалл сорта «Экстра» оптического качества

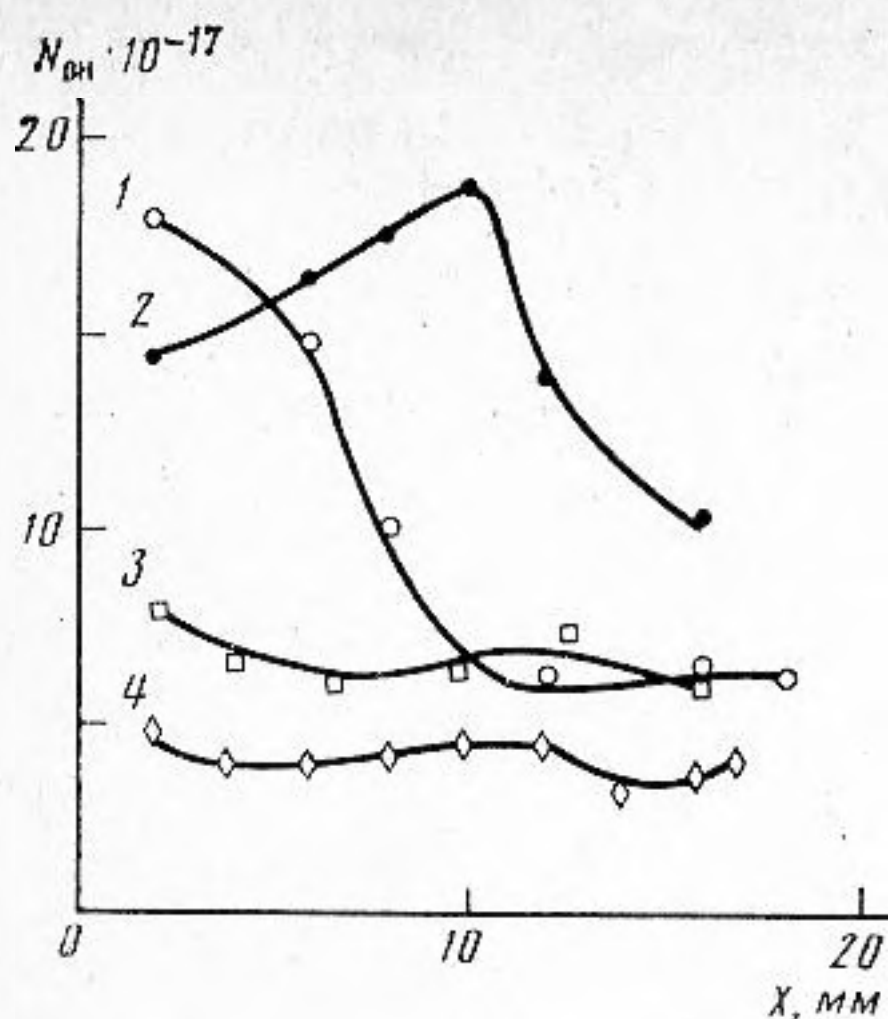


Рис. 2

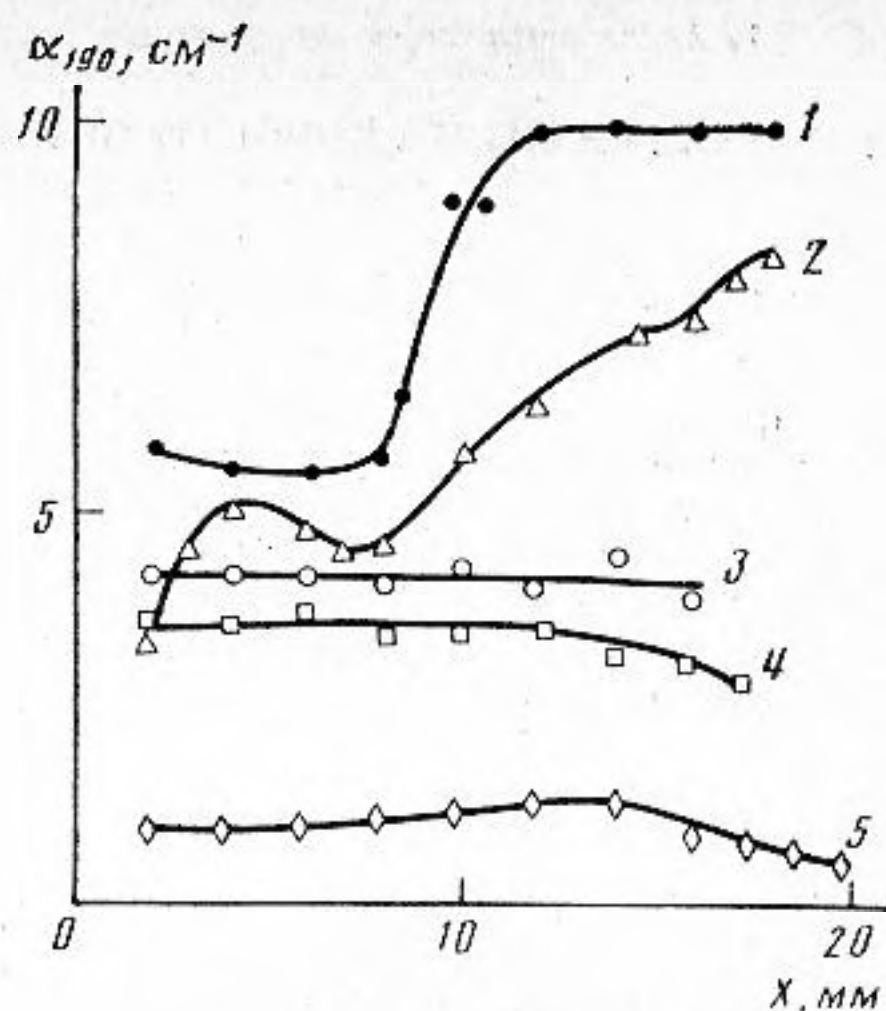


Рис. 3

Рис. 2. Распределение концентрации ОН-групп по толщине образцов кварца вдоль оси X: 1 — 201/2; 2 — 1331; 3 — 13-12; 4 — 0-72

Рис. 3. Распределение поглощения на  $\lambda=190$  мкм по толщине образцов кварца вдоль оси X: 1 — 0-72; 2 — 1331; 3 — природный; 4 — 13-12, 5 — 1583

волны вдоль оси Y 150 мм краевые эффекты не искажают результаты измерения  $v_z$  на расстоянии более 4 мм от граней ZY. Поскольку толщина образцов по оси X была различной, то вариация  $v_z$  между образцами оценивалась по максимальному значению  $\Delta v_z/v_z$  на минимальной рабочей толщине 6 мм для всех исследованных кристаллов.

Результаты, полученные на основании измерения 70 образцов, показали, что  $v_z$  в пределах отдельного образца изменяется от  $0,5 \cdot 10^{-5}$  (точность измерения) до  $20 \cdot 10^{-5}$ , а между различными образцами это изменение достигает  $70 \cdot 10^{-5}$ , т. е. максимальное различие абсолютного значения  $v_z$  в направлении оси Y в кристаллах кварца, имеющих добротность  $0,3 \cdot 10^6 - 8,5 \cdot 10^6$ , не превышает 3 м/с.

На рис. 1 приведены результаты измерений для некоторых образцов. Видно, что  $v_z$  по толщине образца может оставаться как постоянной, так и немонотонно изменяться, т. е. расти или уменьшаться по толщине нарощеного на затравочную пластину материала. Так, например, в образце 5 отмечено резкое изменение  $v_z$  во второй половине цикла выращивания на расстоянии 8–9 мм от затравки. Гамма-облучение пластинки Y-среза, изготовленной из этого кристалла, обнаруживает в этой области светлую полосу, свидетельствующую об изменении технологических параметров в этот период цикла кристаллизации, приведших к изменению концентрации потенциальных центров дымчатой окраски.

Измерение спектров ИК- и УФ-поглощения обнаружило на этой толщине образца максимум концентрации ОН-групп и минимум поглощения на  $\lambda=190$  мкм (см. рис. 2, 3). По-видимому, это резкое нарушение распределения примесей и привело к нарушению монотонного изменения  $v_z$ .

Измерения  $\Delta v_z/v_z$  в трех образцах, изготовленных из кристаллов одного цикла выращивания, дали следующие значения:  $-30,9 \cdot 10^{-5}$ ;  $-34,3 \cdot 10^{-5}$  и  $-68,8 \cdot 10^{-5}$  и вариацию  $v_z$  по толщине:  $3,9 \cdot 10^{-5}$ ;  $5,2 \cdot 10^{-5}$  и  $12,9 \cdot 10^{-5}$  соответственно.

Исследование этих образцов оптическими методами показало, что все они характеризуются неоднородным (зонарным) распределением примесей (см. рис. 4), причем имеется узкая область значительного изменения показателя преломления, отмечаемая по контрастности дифракционной картины (4, а) и по излому линий интерференции (4, б). Различие же  $v_z$  и ее вариации по толщине образцов можно объяснить тем, что в этих образцах наблюдается непараллельность плоскостей ростовых зон распределения примесей плоскости YZ-образца (до  $\sim 5^\circ$ ), причем с ростом угла между ними увеличивалась вариация  $v_z$ .

По-видимому, это связано либо с отклонением затравочной пластины от X-среза, либо с различной степенью клиновидности кристалла за счет разницы в скорости роста по длине кристалла при вертикальной завеске затравочной пластины в различных зонах автоклава.

В некоторых образцах обнаружено наличие материала пирамид роста пинакоида и положительной тригональной пирамиды с границей между ними, а также отдельных линейных дефектов, наследуемых от затравочной пластины (см. рис. 5). Все эти дефекты также увеличили вариацию  $v_z$ .

Из рис. 1 можно видеть, что абсолютные значения  $v_z$  для неоднородных по толщине образцов в большинстве случаев несколько ниже, чем в природном кристалле. На примере образцов 4, 5 видно, что с ростом неоднородности  $v_z$  абсолютное значение уменьшается, а образцы 9, 12 и 13 показывают рост  $v_z$  с ростом од-

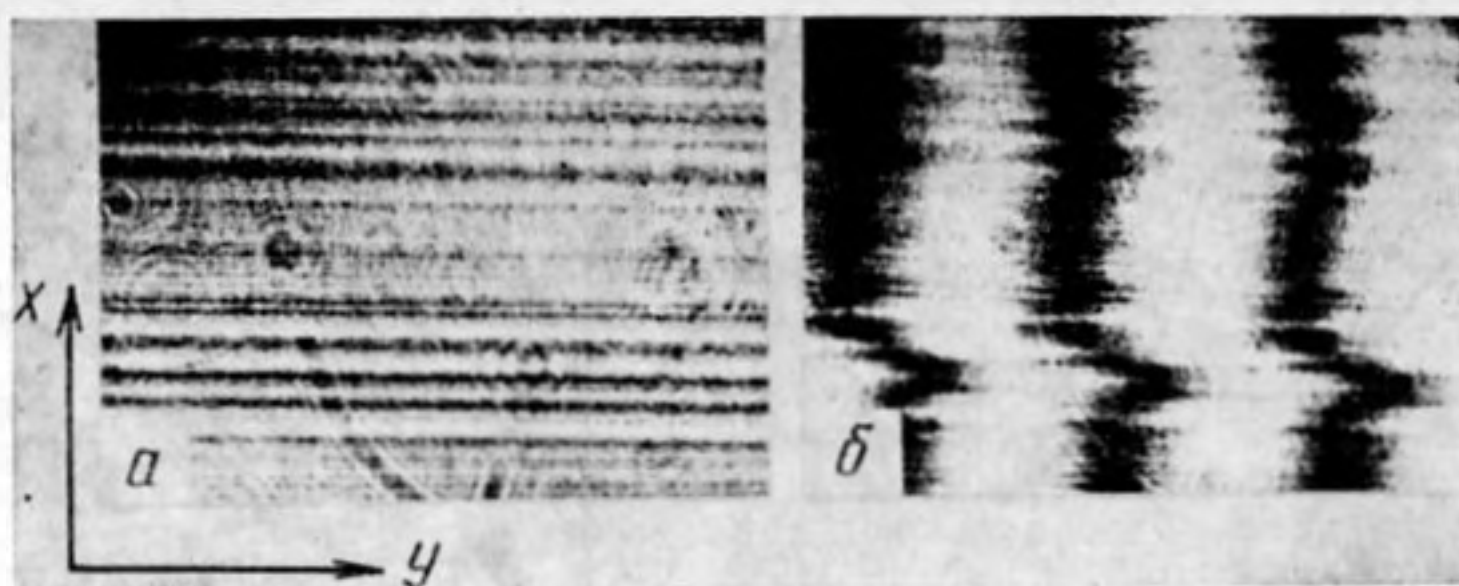


Рис. 4. Дифракционная (а) и интерференционная (б) картины в образце кварца 1700

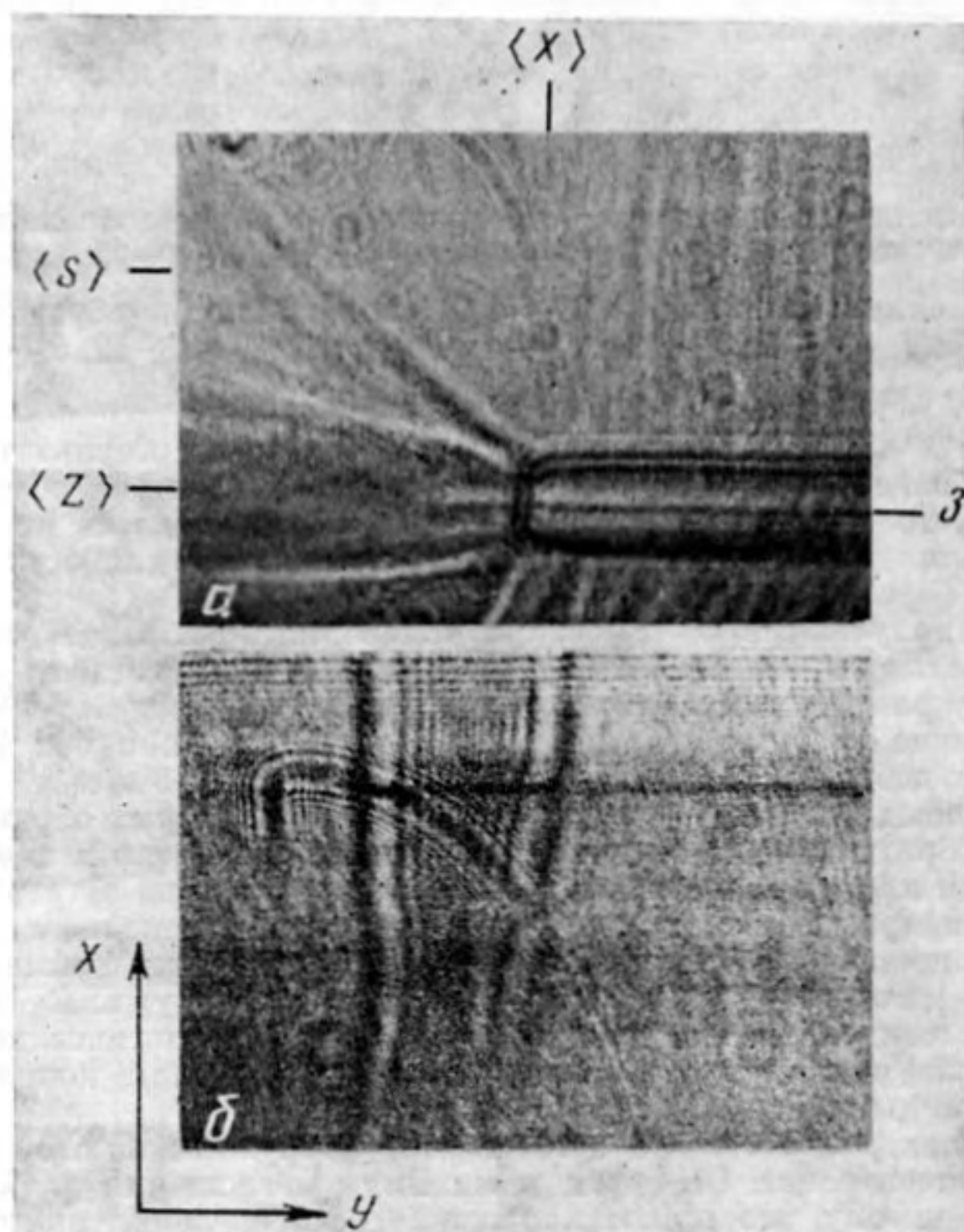


Рис. 5. Дифракционные картины в образцах кварца: а — 1776; б — 1583  
 (с) — пирамида пинакоида;  $\langle s \rangle$  — тригональная пирамида,  $\langle x \rangle$  — положительная тригональная призма,  $\delta$  — затравочная пластина

нородности по толщине образца. В связи с этим на двух образцах с различной однородностью  $v_3$  были измерены все скорости по трем кристаллографическим направлениям (см. таблицу).

Эти результаты подтвердили, что значение всех скоростей УЗВ для однородного образца выше, чем для неоднородного и это различие максимально для поперечной волны  $v_t$ , распространяющейся в направлении оси  $Y$ . Как уже отмечалось, в неоднородных по  $v_3$  образцах наблюдается и неоднородное по толщине образца распределение поглощения в УФ- и ИК-областях спектра, (см. рис. 2, 3), а также наблюдаются оптические неоднородности по показателю преломления, выявляемые по изменению интерференционной картины (метод Маха-Циндера) или по дифракционной картине, наблюдаемой в монохроматическом линейно поляризованном свете (коллиматорный метод) (см. рис. 4). Причем отмечено, что контрастность оптической неоднородности больше в неоднородных по  $v_3$  образцах.

Для получения количественных зависимостей  $v_3$  от особенностей реальной структуры кристаллов кварца требуются дополнительные исследования. Таким образом, на данном этапе исследования сопоставление полученных нами результатов с условиями выращивания кристаллов кварца показывает, что при соблюдении определенных требований к ориентировке и качеству затравочных пластин и путем

## Скорости УЗВ в образцах кварца

Ось	Тип волны	Скорость образца, м/с		$\Delta v_3$ , м/с
		однородный	неоднородный	
X	Продольная, $v_l$	5751,05	5750,20	0,85
	Поперечная, $v_{t_1}$	5115,57	5114,99	0,58
	Поперечная, $v_{t_2}$	3298,41	3296,91	1,50
Y	Квазипродольная, $v_{ql}$	6006,63	6005,59	1,04
	Квазипоперечная, $v_{qt}$	4323,22	4321,67	1,55
Z	Поперечная, $v_t$	3918,07	3916,11	1,96
	Продольная, $v_{lz}$	6319,85	6319,39	0,46
	Поперечная, $v_{tz}$	4688,08	4687,44	0,64

выбора состава раствора и параметров кристаллизации можно гарантированно получать кристаллы с вариацией скорости ультразвуковой волны в пределах кристалла и партии кристаллов, не превышающей  $(1-1,5) \cdot 10^{-5}$ .

### ЛИТЕРАТУРА

1. Фотченков А. А., Щевелько М. М., Яковлев Л. А. Результаты исследования упругих характеристик синтетического и природного пьезокварца ультразвуковым способом // Изв. ЛЭТИ. 1974. Т. 145. С. 74-77.
2. Луданов А. Г., Фотченков А. А., Яковлев Л. А. Вариация упругих постоянных пьезокварца // Акуст. журн. 1976. Т. 22. № 4. С. 612-613.
3. Иванов В. Е., Меркулов Л. Г., Шукин В. А. Метод прецизионного измерения скорости УЗВ в твердых телах // Ультразвуковая техника. 1965. № 2. С. 3-12.
4. Яковлев Л. А. О возможности импульсно-фазового метода измерений скоростей распространения УЗВ в твердых средах // Изв. ЛЭТИ. 1977. Т. 221. С. 61-64.

Всесоюзный научно-исследовательский институт  
синтеза минерального сырья

Поступило в редакцию  
20.V.1988

УДК 533.6.011.8

### ГАЗОДИНАМИЧЕСКИЙ СПОСОБ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА ПОГЛОЩЕНИЯ ВОЛН РЭЛЕЯ

*Елфимов А. А., Породнов Б. Т., Селезнев В. Д., Флягин А. Г.*

Важной характеристикой устройств на поверхностных акустических волнах (ПАВ) является коэффициент поглощения энергии волны в материале подложки. Наряду с этими потерями существует поглощение ПАВ в среде, контактирующей с подложкой. Обычно устройства на ПАВ контактируют, как правило, с газовой средой. Такой контакт принято называть газовым нагружением. В связи с этим актуальна оптимизация условий газового нагружения, так как не всегда на практике возможна эксплуатация устройств с ПАВ в вакууме.

Существующие экспериментальные методы исследования влияния газового нагружения основаны на измерении амплитуды выходного сигнала при различных давлениях газа [1]. Однако в определенных диапазонах частот и давлений газа данный метод не совсем надежен: так, например, в [1] приходится измерять сигнал тройного прохождения для накопления информации. Отсутствуют в литературе сведения по влиянию величины газовых объемов в устройствах с ПАВ на их характеристики. В целом, как отмечается в [1, 2], экспериментальных данных по обсуждаемому кругу задач крайне недостаточно.

Используемый в данной работе метод основан на измерении разности давлений  $\Delta P$ , возникающей вследствие инициирования поверхностной акустической волной потока газа в плоском канале, одна из стенок которого генерирует ПАВ (кристалл  $yz-LiNbO_3$ ) на частоте  $\sim 80$  МГц. Измерялась  $\Delta P$  между двумя полостями, соединенными каналом. В качестве датчика давления использовался высокочувствительный мембранный микроманометр. Принципиальная схема экспериментальной установки подробно описана в [3].