

ВЛИЯНИЕ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ И ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКОГО ПОЛЯ НА ПОГЛОЩЕНИЕ УЛЬТРАЗВУКА В КРИСТАЛЛИЧЕСКОМ КВАРЦЕ

С. В. КАРАПЕТЯН, А. А. ДУРГАРЯН

Исследовалась пластическая деформация кристаллов кварца, а также влияние деформации и электрического поля на поглощение ультразвука в этих кристаллах. Наблюдено увеличение плотности дислокаций после пластической деформации образцов кристаллического кварца. Изучение температурной зависимости поглощения ультразвука показало, что деформация приводит к появлению пика поглощения при $T = 320^\circ\text{C}$. Показано также, что воздействие электростатического поля приводит к подавлению пиков поглощения ультразвука. Рассчитаны энергии активации процессов.

Исследования акустических потерь кварцевых резонаторов показали, что они, в основном, связаны с различными примесями [1]. Часть поглощения ультразвука в килогерцевой области частот как в природном, так и в синтетическом кристаллах кварца может быть описана движением дислокаций [2, 3]. В работе [4] была исследована амплитудная зависимость декремента затухания кварца после предварительной динамической деформации. Сделанные выводы говорят об участии дислокаций в процессах пластической деформации. Однако прямых доказательств увеличения плотности дислокаций в работе нет.

В работе [5] приводится картина травления, полученная по плоскости скола (10 $\bar{1}1$) искусственного кварца, но в ней не было исследовано изменение плотности дислокаций после деформации. Изучение влияния динамической деформации на поглощение ультразвука в кварце показывает, что такая деформация не приводит к появлению новых дислокаций [6]. Несмотря на наличие ряда работ по дислокационному поглощению ультразвука в кристаллическом кварце [1—6] прямых доказательств изменения плотности дислокаций и поглощения ультразвука при пластической деформации нам не известно.

Целью настоящей работы является исследование пластической деформации кристаллического кварца, а также влияния деформации и электростатического поля на поглощение ультразвука в этих кристаллах.

Для измерения поглощения ультразвука в кварце применялся резонансный метод [7, 8]. Измерения проводились в печи, температура в которой поддерживалась с точностью до $\pm 1^\circ\text{C}$. Перед измерениями образцы отжигались при 540°C в течение 48 часов с дальнейшим медленным охлаждением. В течение 5 часов образцы подвергались воздействию электростатического поля от высокостабильного генератора ВС-23 с напряженностью 6 кВ/см. Деформация образцов проводилась методом четырехточечного изгиба в печи под нагрузкой $P = 4 \text{ кГ}$ при 540°C . Травление кристаллов кварца проводилось в кипящей плавиковой кислоте в течение 50÷60 минут.

Для деформации были отобраны пластинки и бруски кварца zy -среза, которые деформировались вдоль оси z . Кварцевые пластинки zy -среза толщиной $d=1$ мм до деформации имели плотность дислокаций $N \simeq 10^3 \text{ см}^{-2}$ (рис. 1). После деформации плотность дислокаций возросла до $N \simeq 10^5 \text{ см}^{-2}$. Обе фотографии относятся к одному и тому же участку

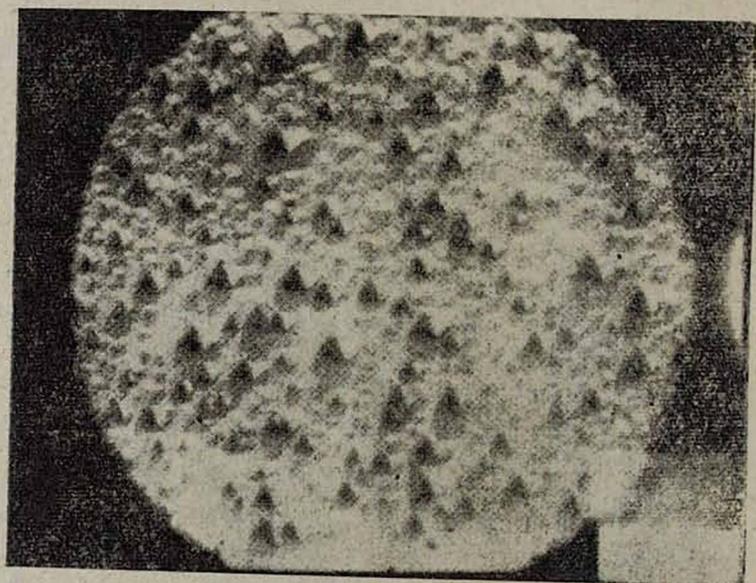
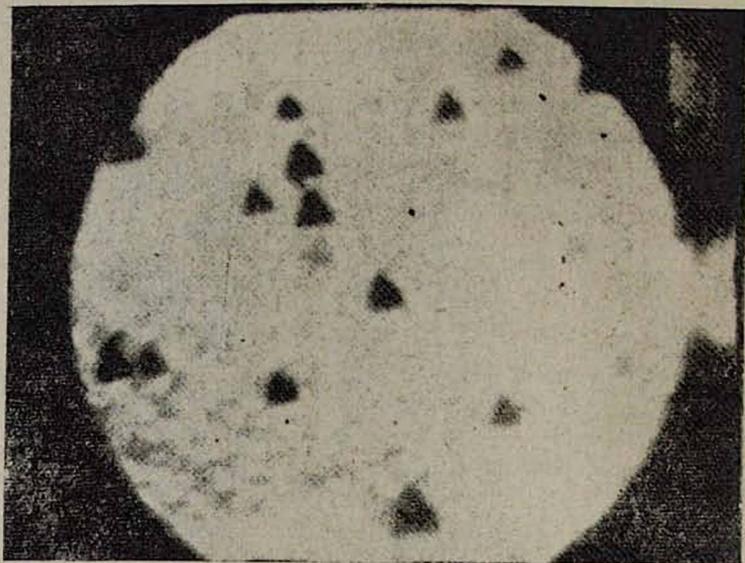


Рис. 1. Картина травления кварцевой пластинки zy -среза: а) до деформации, б) после деформации.

кристалла. Картина на рис. 16 является результатом двухкратного травления, однако фотографирование проводилось с меньшим увеличением.

Бруски кварца z -среза толщиной $d = 3$ мм с собственной частотой $f = 114$ кГц и $\dot{f} = 62$ кГц также подвергались деформации четырехточечным изгибом. Плотность дислокаций в этих кристаллах составляла до отжига $N \approx 10^5$ см $^{-2}$, после отжига — $N \approx 10^3$ см $^{-2}$, после деформации — $N \approx 10^4$ см $^{-2}$. Исследования показали, что если деформация изгибом вдоль оси z осуществляется достаточно хорошо и наблюдается изменение плотности дислокаций, то попытки получить изменение плотности дислокаций при нагружении вдоль оси x не дали положительного результата.

Исследование температурной зависимости поглощения ультразвука образцов кристаллического кварца на частоте $f = 62$ кГц в температурном интервале $300 \div 720^\circ\text{K}$ до и после деформации показало, что увеличение на порядок плотности дислокаций приводит к появлению широкого пика в области температуры $\sim 320^\circ\text{C}$. Повторная деформация увеличивает высоту пика и расщепляет его (рис. 2).

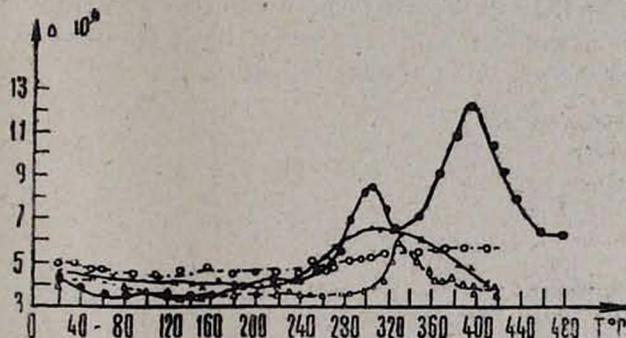


Рис. 2. Температурная зависимость поглощения ультразвука в кварце с собственной частотой $f = 62$ кГц: O — до деформации, X — после деформации, ● — после повторной деформации, Δ — после отжига.

Расчет энергии активации, произведенный по углу наклона низкотемпературной и высокотемпературной ветвей пика [9], дал значение $H = 0,6$ эв, а частотный фактор оказался равным $\sim 4,7 \cdot 10^{10}$. После отжига в течение 72 часов при 550°C в этой области температур вместо прежних пиков появляется слабо выраженный пик при температуре $\sim 330^\circ\text{C}$.

Аналогичные результаты получены также на других исследованных образцах. Из этих результатов следует, что полученные максимумы должны иметь дислокационное происхождение.

Было исследовано также влияние электростатического поля на температурную зависимость поглощения ультразвука в килогерцевом диапазоне частот. После воздействия электростатического поля вдоль оси x в течение 5 часов на кривой температурной зависимости поглощения ультразвука обнаруживается максимум поглощения при 60°C для кварца с собственной частотой $f = 115$ кГц. Повторное приложение поля вдоль того же направления уменьшает этот пик, а затем приводит к его исчезновению (рис. 3).

Приложение электростатического поля противоположного направления восстанавливает пик, но не полностью. Повторное воздействие поля вновь подавляет этот пик.

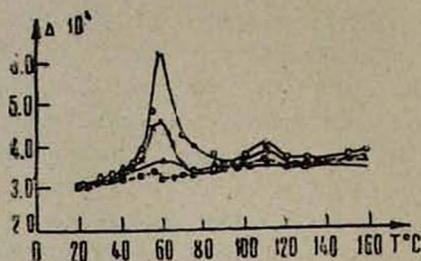


Рис. 3. Влияние электростатического поля на температурную зависимость поглощения ультразвука в кристаллическом кварце с собственной частотой колебаний $f = 115$ кГц: ● — после отжига, ○ — после электростатического воздействия, ×, Δ — после повторных воздействий поля.

Аналогичная закономерность была обнаружена и у кварца с собственной частотой $f = 133$ кГц. Расчет энергии активации по смещению пика на температурной шкале при изменении частоты дал значение $H = 0,145$ эВ, а частотный фактор оказался равным $\sim 1,06 \cdot 10^8$.

Ереванский государственный
университет

Поступила 28.IV.1978

ЛИТЕРАТУРА

1. Д. Фразер. Физическая акустика, Под ред. У. Мезона, т. 5, стр. 72, 1973.
2. Y. Niki. J. Phys. Soc. Japan, 16, 664 (1961).
3. А. А. Дургарян и др. Изв. АН АрмССР, Физика, 9, 423 (1974).
4. В. И. Раткин, А. А. Фогченков. Электронная техника, 10, Радиокомпоненты, вып. 3, 39 (1972).
5. М. С. Йоши, А. С. Ваг. Кристаллография, 12, 4 (1967).
6. В. И. Раткин. Акустический журнал, 16, 563 (1970).
7. Е. Г. Швидковский, А. А. Дургарян. Научные доклады высшей школы, серия физ.-мат. наук, № 5, 211 (1958).
8. А. А. Дургарян, В. В. Есаян, А. Г. Егиазарян. ПТЭ, 4, 135 (1975).
9. В. С. Постников. Внутреннее трение в металлах, М., 1974.

ՊԼԱՍՏԻԿ ԴԵՖՈՐՄԱՑԻԱՅԻ ԵՎ ԷԼԵԿՏՐՈՍՏԱՏԻԿ ԴԱՇՏԻ
ԱՋԴԵՅՈՒԹՅՈՒՆԸ ՈՒՆՏՐԱՉԱՅՆԻ ԿԼԱՆՄԱՆ ՎՐԱ
ԿՎԱՐՑԻ ԲՅՈՒՐԵՂՆԵՐՈՒՄ

Ս. Վ. ԿԱՐԱՊԵՏՅԱՆ, Ա. Հ. ԴՈՒՐԳԱՐՅԱՆ

Ուսումնասիրված է կվարցի բյուրեղների պլաստիկ դեֆորմացիան, դեֆորմացիայի և էլեկտրոստատիկ դաշտի ազդեցությունները ուլտրաձայնի կլանման վրա: Դիտվել է դիսլոկացիաների խտության ավելացումը պլաստիկ դեֆորմացիայից հետո: Ստացվել է, որ էլեկտրոստատիկ դաշտի ազդեցությունը բերում է ուլտրաձայնի կլանման մաքսիմումների իջեցմանը:

THE INFLUENCE OF THE PLASTIC DEFORMATION AND ELECTROSTATIC FIELD ON THE ULTRASOUND ABSORPTION IN QUARTZ CRYSTALS

S. V. KARAPETYAN, A. A. DURGARYAN

The influence of plastic deformation of quartz crystals and of the electrostatic field on the ultrasound absorption in these crystals was investigated. The increase in the density of dislocations after the plastic deformation was observed. It was also observed that the influence of the electrostatic field leads to the ultrasound absorption peaks suppression.

