

УДК 539.67

Физика

С. В. КАРАПЕТЯՆ, А. Н. ЦЕЛЕБРОВСКИЙ, А. А. ДУРГАРՅԱՆ

ВЛИЯНИЕ ДИФФУЗИИ ПРИМЕСЕЙ НА ПОГЛОЩЕНИЕ УЛЬТРАЗВУКА В КВАРЦЕ АТ-СРЕЗА

Исследовалось влияние диффузии примесей Li^+ , K^+ , Ni^{3+} на поглощение ультразвука в кристаллах кварца АТ-среза.

Выявлено, что диффузия примесями Li^+ , K^+ , Ni^{3+} приводит к подавлению релаксационных пиков поглощения и образованию новых, обусловленных примесями Li^+ и K^+ .

При больших амплитудах ультразвука ($\epsilon > 10^{-4}$) диффузия примесями Li^+ и K^+ приводит к увеличению пластичности кристаллов, тогда как диффузия образцов Ni^{3+} приводит к незначительному уменьшению пластичности кристаллов кварца АТ-среза.

Оценка изменения пластических свойств под влиянием различных факторов, таких, как температура, легирование, действие радиации, является важным в прикладном плане, определяя тем самым возможность применения твердых тел в различных условиях.

Существует ряд работ, в которых исследовалось влияние примесей на поглощение ультразвука в кварце [1—4]. Однако конкретных исследований по влиянию примесей на динамику дислокаций в кварце нам не известно. В работе [4] не отрицается зависимость затухания ультразвука от движения дислокаций.

В настоящей работе проведено исследование температурной и амплитудной зависимостей дислокационного поглощения ультразвука в образцах кварца АТ-среза, а также влияния диффузии примесей на эти зависимости.

После деформации образцов, проводимой методом четырехточечного изгиба под нагрузкой ($P \approx 4,5 \text{ кг}$) при 550°C , плотность дислокаций оказалась равной $2,2 \cdot 10^4 \text{ см}^{-2}$, в то время как до деформации она составляла $4,9 \cdot 10^3 \text{ см}^{-2}$. Диффузия образцов проводилась в инертной среде при 550°C после предварительного спрессовывания их порошками LiF и KBr и напыления сплавом $\text{Fe } 20\% - \text{Ni } 80\%$. Измерение поглощения ультразвука проводилось резонансным методом [5] с точностью $\pm 1\%$, а дефект модуля определяется с точностью $\pm 0,01\%$.

При исследовании влияния диффузии примесей Li^+ , K^+ , Ni^{3+} на поглощение ультразвука в кристаллах кварца АТ-среза было выявлено, что диффузия приводит к подавлению дислокационных пиков поглощения P_1 , P_2 , P_3 , наблюдаемых после деформации [6], и одновременно наблюдались пики поглощения в кристаллах, диффундированных Li^+ и K^+ при температурах 140° (рис. 1) и 150°C соответственно. Расчет энергий активации, проведенный по наклону левых ветвей пиков, дал

значения 0,63 и 0,8 эВ, а частотные факторы оказались равными соответственно: $f_0 \approx 2,7 \cdot 10^{12} \text{с}^{-1}$ и $f_0 \approx 2,9 \cdot 10^{14} \text{с}^{-1}$, что приблизительно совпадает со значениями энергий активации примесей Li^+ и K^+ в синтетическом кварце [7]. После диффузии Ni^{3+} максимум поглощения ультразвука, обусловленный этой примесью, в исследуемом интервале температур не обнаружен.

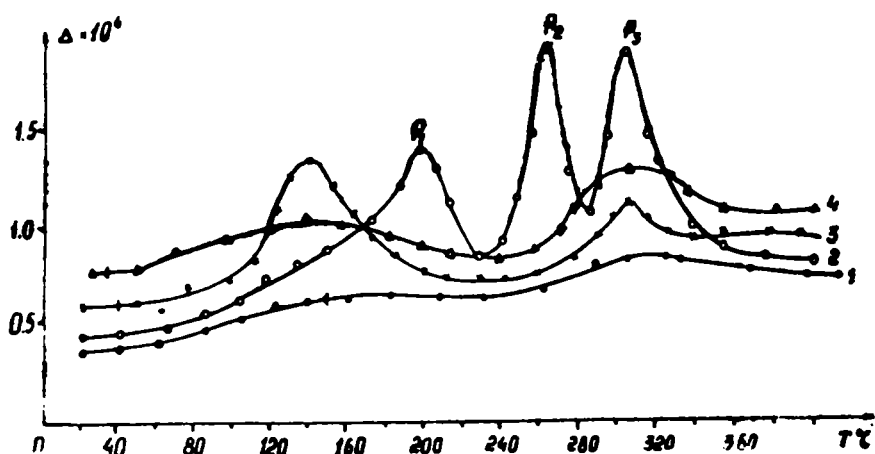


Рис. 1. Температурная зависимость поглощения ультразвука в кварце АТ-среза ($f = 136,6 \text{ МГц}$): 1—после отжига, 2—после деформации, 3—после диффузии примесью Li^+ . 4—после приложения электростатического поля.

Для уточнения характера полученных после диффузии пиков поглощения ультразвука было проведено исследование термолюминесценции образцов кварца, подвергнутых диффузии примесями Li^+ , K^+ , Ni^{3+} . Термолюминесценция кварцевых резонаторов снималась после γ -облучения дозой 5 *Мрад* от источника Co^{60} . Для сравнения снималась также термолюминесценция недиффундированного образца. Температурная зависимость интенсивности термолюминесценции (J) представлена на рис. 2. Как видно, в недиффундированных образцах в области 250—260° и 340°С наблюдаются пики термолюминесценции, которые остаются без изменения после диффузии. Кроме того, после диффузии Ni^{3+} , K^+ , Li^+ обнаруживаются максимумы в области температуры 100, 130 и 150°С соответственно. Так как в недиффундированных образцах в области 100—150°С также наблюдаются слабые пики термолюминесценции, это говорит о том, что в недиффундированных образцах имеются вышеуказанные примеси в незначительном количестве. Пик термолюминесценции при 250—260°С, который примерно равен для всех образцов, обычно связывают с концентрацией дефектов типа кислорода вблизи щелочного иона или водорода. Пока не известно, с какими дефектами связаны пики при 340—360°С.

При сравнении пиков, полученных при измерении поглощения ультразвука, с пиками термолюминесценции видно, что для образцов, диффундированных Li^+ и K^+ , наблюдается хорошее совпадение, указывающее на примесной характер наблюдаемых после диффузии пиков поглощения ультразвука. Приложение электростатического поля понижало пики поглощения ультразвука, что также подтверждает их примесной характер.

Исследовалась амплитудная зависимость поглощения ультразвука и дефекта мддуля в этих кристаллах, а также влияние диффузии и электростатического поля на эти величины. В отожженных кристаллах кварца поглощение ультразвука уменьшается с увеличением амплиту-

ды деформации вплоть до $\epsilon \sim 4 \cdot 10^{-5}$ [6]. После диффузии Ni^{3+} фон поглощения увеличивается (рис. 3), а скорость спада поглощения ульт-

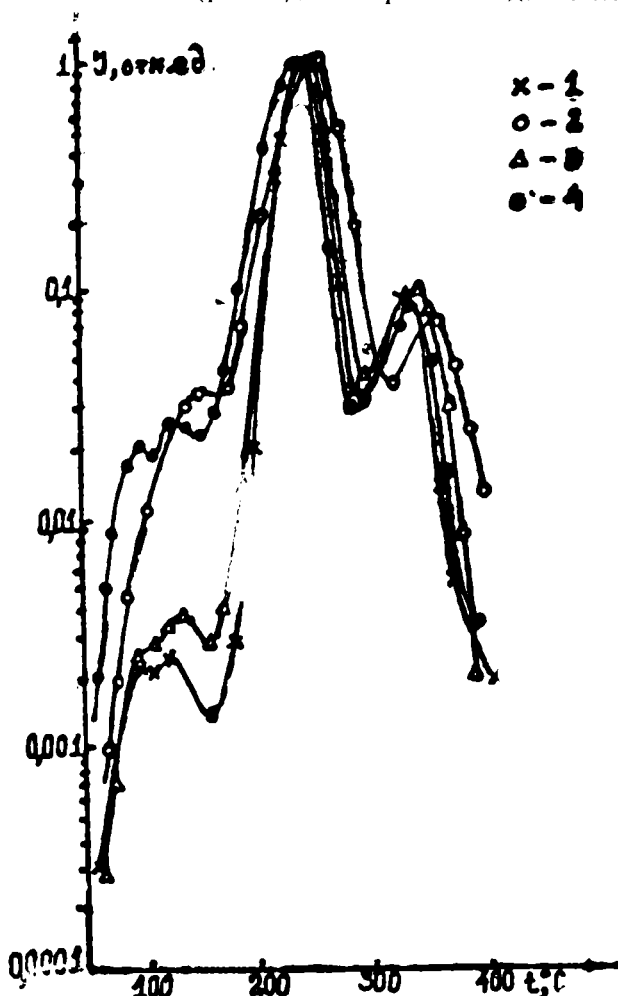


Рис. 2. Температурная зависимость интенсивности термолуминесценции. 1—без диффузии (2—после диффузии Li^+ , 3—после диффузии K^+ , 4—после диффузии Ni^{3+}).

развука в этой области амплитуд понижается ($\frac{d\Delta}{d\epsilon} = -29$), т. е. кри-

сталл становится более пластичным, что видно также из зависимости дефекта модуля от амплитуды деформации. Приложение электростатического поля вновь увеличивает скорость спада поглощения ультразвука, т. е. кристалл вновь становится менее пластичным.

После диффузии Li^+ и K^+ закономерность изменения дефекта модуля сохраняется, но скорость спада поглощения ультразвука после диффузии Li^+ почти не изменяется при этих амплитудах.

В области $\epsilon > 10^{-1}$ между изменением поглощения ультразвука и дефекта модуля также существует корреляция (табл. 1), причем здесь наблюдается значительный рост поглощения ультразвука после диффузии примесями Li^+ (рис. 4) и K^+ , т. е. повышение пластичности кристаллов. Примеси же Ni^{3+} при больших амплитудах способствуют понижению пластичности.

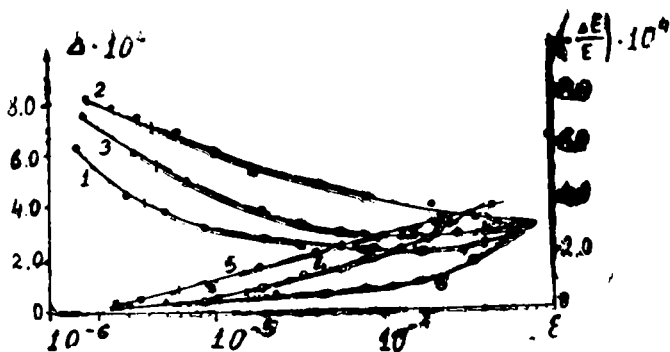


Рис. 3. Амплитудная зависимость поглощения ультразвука (1—3) и дефекта модуля (4—6) в кристаллах кварца АТ-среза: 1, 4—до диффузии; 2, 5—после диффузии Ni^{3+} ; 3, 6—после приложения электростатического поля.

Таблица 1
Скорость изменения поглощения ультразвука (Δ) и дефекта модуля ($\Delta E/E$) для образцов кварца в зависимости от амплитуды до термодюминесценции

	$\epsilon < 10^{-5}$		$\epsilon > 10^{-4}$	
	$\frac{d\Delta}{d\epsilon}$	$\frac{d(\Delta E/E)}{d\epsilon}$	$\frac{d\Delta}{d\epsilon}$	$\frac{d(\Delta E/E)}{d\epsilon}$
до диффузии после диф. Li^+ после эл. поля	— 44	— 22	1,15	— 0,35
	— 44	— 30	2,5	— 0,7
	— 42	— 20	0,7	— 0,25
до диффузии после диф. K^+ после эл. поля	— 75	— 7	0,1	— 0,1
	— 62,5	— 22	1,5	— 1,05
	— 72,5	— 9	0,4	— 0,55

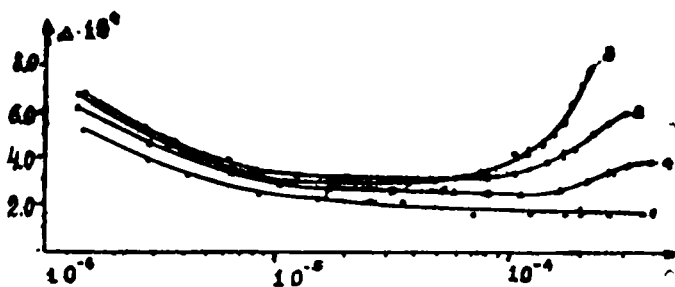


Рис. 4. Амплитудная зависимость поглощения ультразвука в кварце АТ-среза: 1—до деформации, 2—после деформации, 3—после диффузии примесью Li^+ , 4—после электростатического поля.

Известно, что примесные ионы щелочных металлов при высоких температурах приводят к увеличению акустических потерь в кварце [7] и уменьшению их твердости [2], причем в [2] предполагается, что эти ионы ускоряют уплотнение примесных атомов вокруг себя, увеличивая тем самым подвижность винтовых дислокаций. Можно полагать, что в отличие от Ni^{3+} большая подвижность ионов Li^+ и K^+ при больших амплитудах ультразвука способствует колебательному движению дислокаций, чем и объясняется повышение пластичности кристаллов

после диффузии их Li^+ и K^+ . Параллельно наблюдалось также уменьшение скорости роста поглощения ультразвука после приложения электростатического поля (табл. 1).

Таблица 2

Скорость изменения поглощения ультразвука (Δ) и дефекта модуля ($\Delta E/E$) в зависимости от амплитуды для образцов кварца после термолюминесценции

	$\epsilon < 10^{-5}$		$\epsilon > 10^{-4}$	
	$\frac{d\Delta}{d\epsilon}$	$\frac{d(\Delta E/E)}{d\epsilon}$	$\frac{d\Delta}{d\epsilon}$	$\frac{d(\Delta E/E)}{d\epsilon}$
до диффузии после диф. Li^+ после эл. поля	27,3	— 4,4	0,1	— 0,04
	12,6	— 4,6	0,52	— 0,66
	8,9	— 0,25	0,26	— 0,185
до диффузии после диф. K^+ после эл. поля	27,3	— 4,4	0,1	— 0,04
	4,87	— 1,81	0	0,3
	4,8	— 0,76	0	— 0,22

Исследование амплитудной зависимости поглощения ультразвука и дефекта модуля проведено также после термолюминесценции (т. е. в облученных образцах кварца) и рассчитаны скорости изменения этих величин для сравнения с результатами, полученными для диффундированных образцов, не подвергнутых γ -облучению. Как видно из табл.

2, закономерности изменения $\frac{d\Delta}{d\epsilon}$ и $\frac{d(\Delta E/E)}{d\epsilon}$ при больших и ма-

лых амплитудах деформаций совпадают с закономерностями изменения этих величин для необлученных образцов. Однако абсолютные значения скоростей изменения этих величин значительно понижаются у облученных образцов, что говорит о повышении упругости диффундированных образцов после их облучения и может быть обусловлено закреплением дислокаций в образцах после γ -облучения (которые не окончательно раскрепляются в процессе высвечивания образцов при исследовании интенсивности термолюминесценции).

Кафедра ФТТ

Поступила 31.01.1986

ЛИТЕРАТУРА

1. Fraser D. B. Anelastic effects of alkali ions in chystalline quartz. — J. Appl. Phys., 1964, v. 35, № 10, p. 2913—2918.
2. Nadeau I. S. Influence of hydrogen and alkali impurities on the high-temperature indentation hardness of natural quartz crystals. — J. Amer. Ceram. Soc., 1970, v. 53, № 10, p. 568—573.
3. Mortley W. S. Diffusions cannals in quartz. — Nature, 1969, v. 221, № 5178, p. 359—360.
4. Мэзон У. Физическая акустика, под ред. Мэзона У., М.: Мир, 1968, т. 3, часть Б, с. 285—343.
5. Дургарян А. А., Есаян В. В., Егиазарян А. А. Дискриминатор на микросхемах для измерения внутреннего трения.—ПТЭ, 1975, № 4, с. 135—137.
6. Карипетян С. В., Дургарян А. А., Тадевосян А. А. Влияние пластической деформации и электрического поля на поглощение ультразвука в кристаллах кварца различных ориентаций.—ФТТ, 1983, № 25, вып. 5, с. 1423—1426.
7. Фразер Д. Физическая акустика, под ред. Мэзона У., М.: Мир, 1973, т. 5, с. 72—133.

Ուսումնասիրված է Li^+ , K^+ , Ni^{3+} խառնուրդների դիֆուզիայի ազդեցությունը ուտրաձայնի կլանման վրա կվարցի AT--կտրվածքի բյուրեղներում:

Ստացված է, որ դիֆուզիան հանգեցնում է ուլտրաձայնի մաքսիմումների նվազեցման և առաջացնում նոր մաքսիմումներ՝ պայմանավորված Li^+ -ի և K^+ -ի խառնուրդներով, որոնք բարձր ամպլիտուդների տիրույթում ($\epsilon > 10^{-4}$) բերում են բյուրեղների պլաստիկության մեծացման, իսկ Ni^{3+} -ի խառնուրդը՝ նվազման:

Summary

The effect of diffusion of Li^+ , K^+ , Ni^{3+} impurities on the ultrasonic absorption in AT-quartz has been studied.

The diffusion of impurities suppresses the relaxational absorption peaks and forms new peaks due to Li^+ and K^+ .

For $\epsilon > 10^{-4}$ the diffusion by Li^+ and K^+ leads to increasing while the diffusion by Ni^{3+} —to decreasing of AT-quartz plasticity.