

ВАРИАЦИЯ УПРУГИХ ПОСТОЯННЫХ ПЬЕЗОКВАРЦА

А. Г. Луданов, А. А. Фотченков, Л. А. Яковлев

Синтетический пьезокварц широко используется в технических устройствах, работающих в условиях различных внешних воздействий (высоких и низких температур, высокого давления, радиационного облучения и др.). При этом, естественно, возникает необходимость учета соответствующих изменений упругих и пьезоэлектрических характеристик кварца.

Ниже приводятся некоторые результаты экспериментальных исследований вариации упругих постоянных кварца при радиационном облучении. Опыты проводились на кристалле, выращенном во ВНИИСИМС гидротермальным способом из водного раствора карбоната натрия на затравочную пластину среза $ZXl/+5^\circ$. Скорость роста грани пинакоида составляла $0,25 \text{ мм/сут}$. Добротность этого кварца, измеренная на частоте колебаний резонатора среза АТ 1 Мгц , составляла $0,3 \cdot 10^6$. Образцу была придана форма прямоугольного параллелепипеда, ориентированного гранями перпендикулярно кристаллографическим осям кварца, с размерами ребер порядка 30 мм . Точность ориентировки $\pm 1'$, непараллельность противоположных граней не превышала $\pm 1 \text{ мм}$. Для снятия механических напряжений образец был отожжен при 400° С в течение 4 час с последующим медленным охлаждением.

В образце измерялись скорости распространения всех ультразвуковых волн в направлениях осей X, Y, Z . Использовалась ультразвуковая импульсно-фазовая методика [1], относительная погрешность измерений составляла $\pm 0,002\%$. Далее образец последовательно облучался γ -лучами от источника Co^{60} соответственно дозами $D=10^6; 10^7$ и 10^8 р при интенсивности излучения 900 р/сек . Доза облучения определялась с точностью $\pm 20\%$. После каждого облучения измерялись скорости всех волн. Результаты измерений при 20° С представлены в табл. 1.

На основе проведенных измерений были рассчитаны модули упругости при постоянном электрическом поле $C_{11}^E, C_{33}^E, C_{44}^E, C_{66}^E, C_{14}^E$ и постоянной индукции C_{11}^D, C_{66}^D и пьезоэлектрическая постоянная e_{11} [2]. Результаты расчета при $D=0$ даны в табл. 2. Погрешности находились исходя из погрешности измерения скоростей $\pm 0,002\%$. Аналогичные расчеты были выполнены для облученного образца. Результаты относительного изменения параметров кварца при облучении приведены в табл. 3.

Из табл. 1–3 следует, что C_{33}^E и C_{11}^D практически не изменяются, изменения $C_{11}^E, C_{44}^E, C_{66}^E, C_{66}^D$ и e_{11} достигают насыщения при дозе 10^7 р . Изменения упругих постоянных кварца при γ -облучении дозой 10^7 р были пересчитаны нами на изменение резонансной частоты колебаний резонатора среза АТ. Получено, что при этой дозе на частоте 1 Мгц изменение частоты должно составлять $\sim 100 \text{ Гц}$. Эта величина

Таблица 1

Ось	Тип волны	Скорость см/сек·10 ⁵	$\Delta v/v, \%$		
			$D=10^6 \text{ р}$	$D=10^7 \text{ р}$	$D=10^8 \text{ р}$
X	Продольная, v_l	5,7509	0	0	0
	Поперечная, v_{l_1}	5,1145	+0,006	+0,006	+0,007
	Поперечная, v_{l_2}	3,2978	+0,009	+0,009	+0,008
Y	Квазипродольная, v_{qt}	6,0070	0	0	0
	Квазипоперечная, v_{qt}	4,3249	0	-0,004	0
	Поперечная, v_l	3,9158	+0,004	-0,005	-0,005
Z	Продольная, v_{lz}	6,3216	0	0	+0,003
	Поперечная, v_{lz}	4,6895	+0,007	-0,004	-0,006

Таблица 2

Модули упругости C_{ij} , дин/см²·10¹⁰; пьезопостоянная e_{11} , ед. СГС·10⁴

C_{11}^E	$86,832 \pm 0,009$	C_{66}^E	$39,814 \pm 0,004$	C_{66}^D	$40,614 \pm 0,002$
C_{33}^E	$105,831 \pm 0,004$	C_{14}^E	$-18,026 \pm 0,055$	e_{11}	$-5,21 \pm 0,02$
C_{44}^E	$58,248 \pm 0,002$	C_{11}^D	$87,602 \pm 0,004$		

$\Delta C_{ij}/C_{ij}$	$D=10^6 p, \%$	$D=10^7 p, \%$	$D=10^8 p, \%$	Погрешность, %
C_{11}^E	0	+0,02	+0,02	$\pm 0,01$
C_{33}^E	0	0	+0,006	$\pm 0,004$
C_{44}^E	+0,014	-0,01	-0,01	$\pm 0,004$
C_{66}^E	+0,01	+0,05	+0,05	$\pm 0,01$
C_{11}^D	0	0	0	$\pm 0,004$
C_{66}^D	+0,007	-0,01	-0,01	$\pm 0,004$
$\Delta e_{11}/e_{11}$	0	-1,5	-1,5	$\pm 0,4$

удовлетворительно согласуется с экспериментальными данными по уходу частоты для кристаллов исследованной добротности [3-5].

В заключение отметим, что получаемые рассмотренным выше способом данные могут быть полезны не только при проектировании соответствующих акустоэлектронных устройств, но и при изучении механизмов радиационного воздействия на монокристаллический кварц.

ЛИТЕРАТУРА

1. В. Е. Иванов, Л. Г. Меркулов, В. А. Щукин. Метод прецизионного измерения скоростей ультразвуковых волн в твердых телах. Ультразвуковая техника, 1965, 2, 3-12.
2. А. А. Фотченков, М. М. Шевелько, Л. А. Яковлев. Результаты исследования упругих характеристик синтетического и природного пьезокварца ультразвуковым способом. Изв. ЛЭТИ, 1974, 145, 74-77.
3. A. R. Chi. Effect of X-Ray Irradiation on the Frequency-Temperature Behaviour of AT-cut Quartz Resonators. Phys. Rev., 1957, 107, 6, 1524-1531.
4. J. C. King. The Anelasticity of Natural and Synthetic Quartz at Low Temperature. Bell System. Techn. J., 1959, 38, 2, 573-601.
5. J. C. King, H. H. Sander. Rapid Annealing of Frequency Change in High Frequency Crystal Resonators Following X-Irradiation. IEEE Trans. on Nucl. Sci., 1972, NS-19, 6, 23-32.

Всесоюзный научно-исследовательский институт синтеза минерального сырья, Ленинградский электротехнический институт им. В. И. Ульянова (Ленина)

Поступила
10 декабря 1974 г.

УДК 534.232-8

О СПОСОБЕ ПОВЫШЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА УСИЛЕНИЯ ДИСКСТЕРЖНЕВОГО УЛЬТРАЗВУКОВОГО ИНСТРУМЕНТА С ПРЕОБРАЗОВАНИЕМ НАПРАВЛЕНИЯ КОЛЕБАНИЙ

Г. Ф. Львовская

Как известно, в ультразвуковых инструментах с преобразованием направления колебаний можно получить большой коэффициент усиления по амплитуде η (отношение амплитуды рабочего торца инструмента к амплитуде преобразователя).

Наибольшее значение η получается при использовании дискстержневого инструмента со стержнем в качестве рабочего элемента [1, 2]; в таком инструменте помимо эффекта связи между диском и стержнем используется эффект радиальной концентрации в самом диске. Дальнейшего увеличения η можно добиться, применяя диск переменной толщины, утоньшающийся к центру (фиг. 1), поскольку такая конструкция позволяет суммировать два эффекта концентрации. Интересно отметить, что в работе [3] было предложено применять диск переменной толщины, утоньшающийся к краям, в качестве рабочего элемента. При этом повышается амплитуда колебаний рабочей поверхности диска сравнительно с диском постоянной толщины, но два эффекта концентрации, свойственные диску переменной толщины, не суммируются, а действуют противоположно.