

# РАСЧЕТ КОЭФФИЦИЕНТОВ ПРОЗРАЧНОСТИ И ОТРАЖЕНИЯ КВАРЦЕВОЙ ПЬЕЗОПЛАСТИНКИ С СИММЕТРИЧНОЙ МЕХАНИЧЕСКОЙ НАГРУЗКОЙ

Б. И. Кальянов, Л. Т. Макаров

На основании равенства упругих смещений и напряжений на границе раздела кварц — среда, а также уравнений пьезоэффекта нами рассчитаны амплитудные коэффициенты прозрачности и отражения  $\dot{D}$ ,  $\dot{K}$  кварцевой пьезопластинки X-среза для общего случая любых частот, электрической и механической нагрузок:

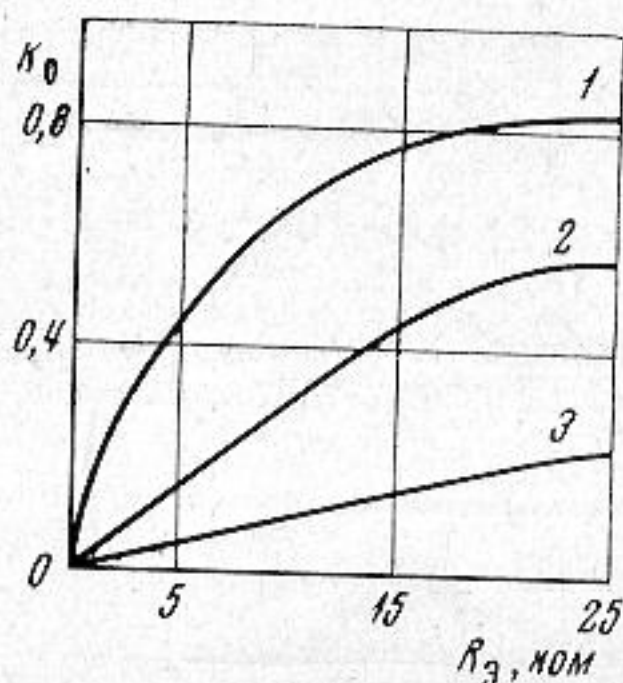
$$\dot{D} = 2z \frac{m \sin kd - z_0 \omega}{f(\omega)}, \quad \dot{K} = 2z \frac{(m - jz' \omega) \sin kd - z_0 \omega \cos kd}{f(\omega)} - 1 \quad (1)$$

где

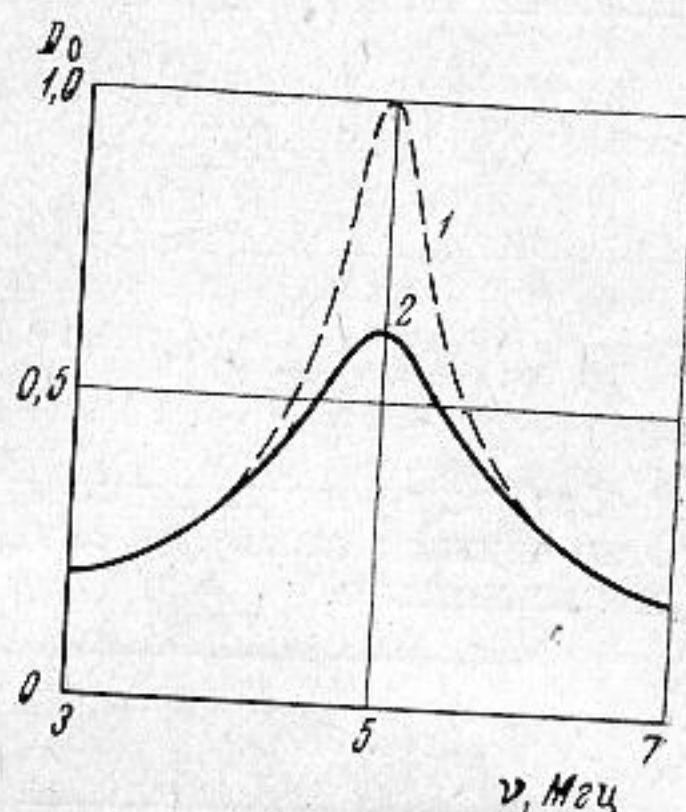
$$f(\omega) = m(z + z') \sin kd - \omega z_0(z + z') \cos kd + j \left[ 4z_0 \cdot m \cdot \sin^2 \frac{kd}{2} - \omega (zz' + z_0^2) \sin kd \right]$$

$$m = \frac{4\pi e_{\parallel}^2}{\epsilon_{\parallel} \cdot d} \frac{Y(\omega)}{Y(\omega) + j\omega C_0}; \quad k = \frac{\omega}{c_0}; \quad C_0 = \frac{\epsilon_{\parallel} \cdot S}{4\pi \cdot d},$$

$z$  и  $z'$  — акустические сопротивления сред, в которых распространяются соответственно отраженная и прошедшая сквозь пьезопластинку волны;  $z_0 = \rho_0 c_0$  и  $d$  — акусти-



Фиг. 1



Фиг. 2

ческое сопротивление и толщина пьезопластинки,  $Y(\omega)$  — проводимость электрической нагрузки,  $\frac{4\pi \cdot e_{\parallel}^2}{\epsilon_{\parallel} \cdot d} = \Omega$ ,  $e_{\parallel}$  и  $\epsilon_{\parallel}$  — пьезоэлектрическая и диэлектрическая постоянные.

Пусть имеет место симметричность механической нагрузки и электромеханический резонанс ( $z = z'$ ;  $kd = n \cdot \pi$ ;  $n = 1, 3, 5, \dots, 0$ ); тогда

$$\dot{D} = - \frac{jz\omega_0}{jz\omega_0 - 2m}, \quad \dot{K} = \frac{2m}{jz\omega_0 - 2m}. \quad (2)$$

Согласно формуле (2), коэффициенты  $\dot{D}$ ,  $\dot{K}$  зависят от электрической нагрузки пьезопластинки. Влияние активной и емкостной нагрузок незначительно ( $K_{\max} < 0,1$ ) и поэтому не представляет особого интереса. Если нагрузкой кварца является настроенный контур (с включением сюда и собственной емкости кварца  $C_0$ ), то при  $R_3^2 \omega_0^2 C_0^2 \gg 1$  получим

$$D_0 = |\dot{D}| = \frac{z\omega_0}{2\Omega} \left( \frac{z \cdot \omega_0}{2\Omega} + R_3 \omega_0 \cdot C_0 \right)^{-1}, \quad (3)$$

$$K_0 = |\dot{K}| = R_3 \omega_0 C_0 \left( \frac{z \cdot \omega_0}{2\Omega} + R_3 \omega_0 C_0 \right)^{-1}. \quad (4)$$

На фиг. 1 представлена зависимость  $K_0$  от  $R_3$ , рассчитанная по (4) для  $S = 3 \text{ см}^2$ ,  $z = 1,5 \cdot 10^5 \text{ г} \cdot \text{см}^{-2} \cdot \text{сек}^{-1}$ . Кривая 1 соответствует частоте 10, 2 — 5, 3 — 10 МГц (3-я



гармоника). Из фиг. 1 следует, что известный вывод Рэлея о полной прозрачности полуволновой пластинки в данном случае несправедлив. На фиг. 2 представлена частотная зависимость  $D_0$ , рассчитанная по формуле (1) для  $\nu_0 = 5 \text{ Мгц}$ ,  $S = 3 \text{ см}^2$ ,  $z = 1,5 \cdot 10^5 \text{ г} \cdot \text{см}^{-2} \cdot \text{сек}^{-1}$ . Кривая 1 — частотная зависимость по Рэлею, т. е. при  $Y(\omega) = 0$ ,  $m = 0$ , кривая 2 соответствует электрической нагрузке в виде настроенного контура в  $R_0 = 15 \text{ ком}$ . Из фиг. 2 можно сделать вывод, что влияние электрической нагрузки в виде настроенного контура на величину  $D_0$  максимально на резонансной частоте кварца, при удалении на  $\pm 1 \text{ Мгц}$  от резонансной частоты кривые 1, 2 сливаются в одну кривую, соответствующую классическим формулам Рэлея [1]. Из фиг. 2 также видно, что «добротность» пьезопластинки зависит не только от механической, но и электрической нагрузки. Графически по частотной зависимости  $\nu^2 \cdot D_0^2$  найдено, что при подключении контура с  $R_0 = 15 \text{ ком}$  «добротность» уменьшается почти вдвое. Значит, должна уменьшаться и длительность переходных процессов пьезопластинки. Нетрудно видеть, что наши расчеты объясняют также образование многократных эхо-импульсов.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Дж. В. Стретт (Рэлей). Теория звука, т. II, М., ГТТИ, 1955.

Таганрогский педагогический институт

Поступило в редакцию  
11 мая 1966 г.

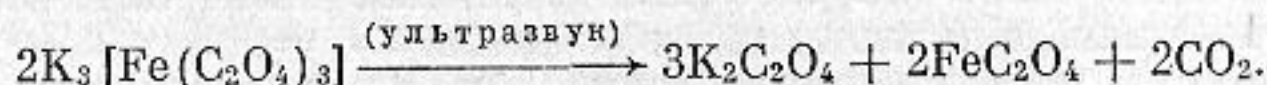
УДК 534.29

### ВОЗНИКНОВЕНИЕ ОКИСЛИТЕЛЬНО-ВОССТАНОВИТЕЛЬНЫХ ПРОЦЕССОВ В РАСТВОРАХ ТРИОКСАЛАТОФЕРАТА (III) КАЛИЯ В ПОЛЕ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ ВОЛН

*А. Н. Мальцев, М. А. Маргулис*

До сих пор было известно, что важная для фотохимии реакция восстановления триоксалактоферрата (III) калия  $K_3[Fe(C_2O_4)_3]$  идет лишь под действием ультрафиолетовых лучей или видимого света [1]. В настоящем исследовании обнаружено осуществление этой реакции в водном растворе под действием ультразвуковых волн.

При этом происходит восстановление центрального атома комплексного соединения железа (III) и одновременное окисление лиганда — ионов  $C_2O_4^{2-}$  до углекислого газа. Суммарно уравнение реакции можно представить в следующем виде:



Эта реакция не идет в темноте даже при продолжительном нагреве раствора.

Озвучивание проводилось в стеклянном реакторе, представляющем собой цилиндр с водяной рубашкой для термостатирования. Опыты проводились при частотах 550 и 20 кгц и интенсивности 4—5 вт/см<sup>2</sup>. Температура озвучиваемого раствора поддерживалась равной 25°. Перед озвучиванием раствор насыщался исследуемым газом в течение одного часа. Образующийся в результате реакции  $CO_2$  качественно обнаруживался при пропускании другого газа (предварительно очищенного от  $CO_2$  в склянке с концентрированным KOH), через озвучиваемый раствор, а затем через раствор  $Ba(OH)_2$ . В контрольном опыте — без озвучивания раствора — помутнения баритовой воды не наблюдалось.

Образующиеся в результате воздействия ультразвуковых колебаний ионы  $Fe^{+2}$  качественно определялись по реакциям с  $K_3[Fe(CN)_6]$ , о-фенантролином или  $\alpha, \alpha'$ -дипиридилем. Последняя реакция применялась нами для количественного определения  $Fe^{+2}$  колориметрическим методом.

Следует отметить, что при отсутствии в озвучиваемом растворе веществ, связывающих образующиеся  $Fe^{+2}$ -ионы, выход восстановленного железа значительно падает. По-видимому, это объясняется обратимостью реакции  $Fe^{+3} \rightleftharpoons Fe^{+2}$  в поле ультразвуковых волн. Например, ранее уже было изучено окисление железа (II) в поле ультразвуковых волн [2] в сильно кислой среде; можно полагать, что в некоторой степени окисление  $Fe^{+2}$  идет и в слабо кислой среде.

В таблице даны степени превращения  $Fe^{+3} \rightarrow Fe^{+2}$  в следующих условиях, которые, как показали предварительные опыты, близки к оптимальным: озвучивались 15 мл 0,0012 м раствора  $K_3[Fe(C_2O_4)_3]$  в 0,0007 н HCl плюс 1 мл водно-спиртового (10:4) раствора, содержащего 20 мг  $\alpha, \alpha'$ -дипиридила, при насыщении раствора исследуемыми газами.

Из таблицы видно, что восстановление железа (III) наиболее быстро идет в атмосфере  $O_2$ , медленнее в атмосфере Ar, He и  $N_2$  и очень медленно в атмосфере  $H_2$ . При насыщении раствора  $CO_2$  реакция практически не шла, по-видимому, вследствие того, что  $CO_2$ , как и вещества с большой упругостью пара, проникая в кавитационную полость, расширяет ее быстрее, чем пары воды, и препятствует ее электронному пробою, что соответствует результатам других авторов [3].

Пока еще не ясно, почему в присутствии  $O_2$  восстановление центрального иона  $Fe^{+3}$  идет более интенсивно, чем при насыщении раствора  $H_2$ , хотя, как известно,