

Скорости УЗВ в образцах кварца

Ось	Тип волны	Скорость образца, м/с		Δv_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 ΔP , возникающей вследствие инициирования поверхностной акустической волной потока газа в плоском канале, одна из стенок которого генерирует ПАВ (кристалл $yz-LiNbO_3$) на частоте ~ 80 МГц. Измерялась ΔP между двумя полостями, соединенными каналом. В качестве датчика давления использовался высокочувствительный мембранный микроанометр. Принципиальная схема экспериментальной установки подробно описана в [3].

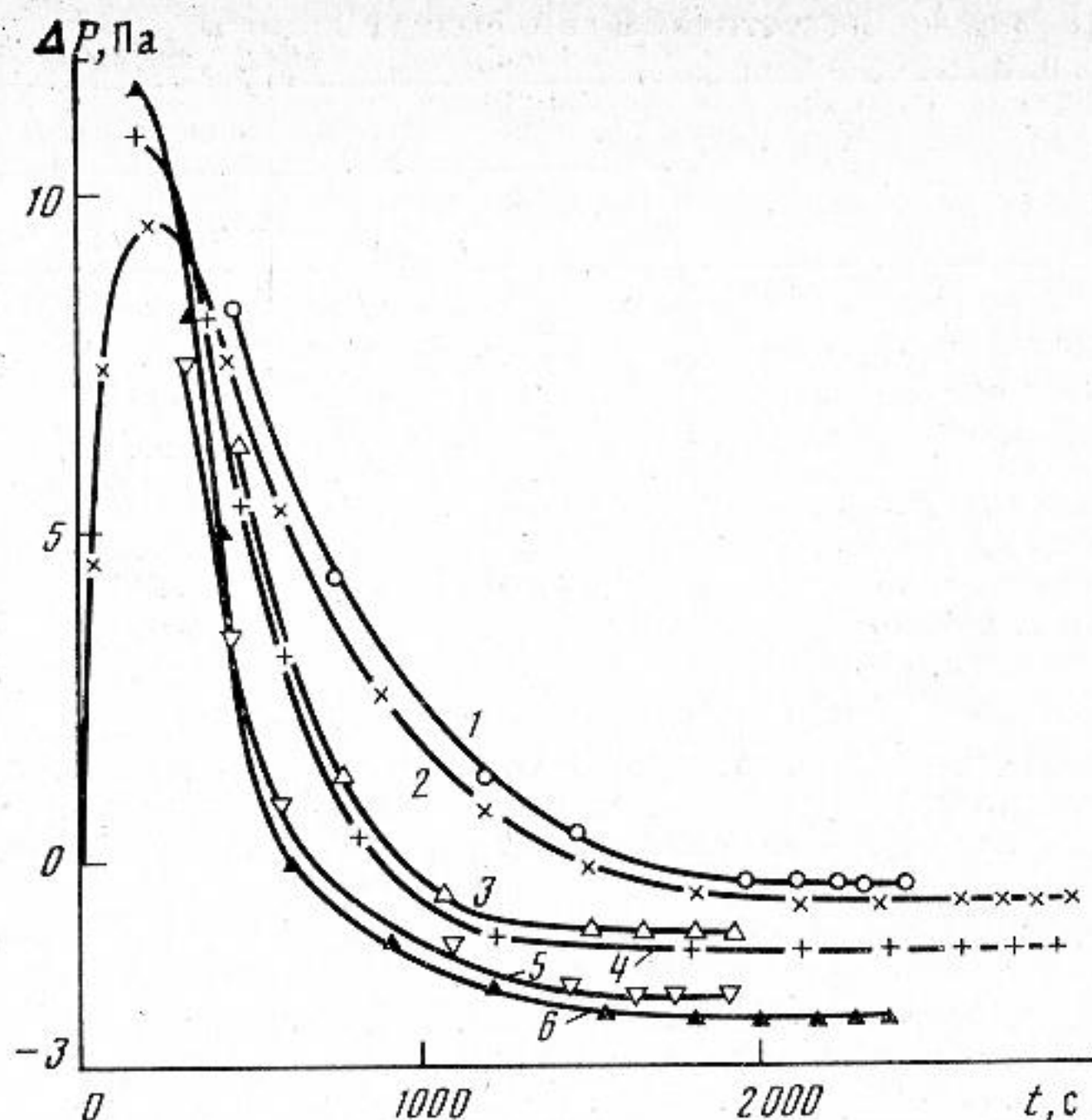


Рис. 1. Эволюция разности давлений ΔP во времени. Эксперимент: Kr — 1, 3, 5: 0,1 МПа; 0,2; 0,3. Xe — 2, 4, 6: 0,1; 0,2; 0,3 МПа

В ходе эксперимента проводились наблюдения за эволюцией ΔP во времени t . На рис. 1 представлены характерные экспериментальные зависимости $\Delta P(t)$ для ксенона и криптона, измеренные при комнатной температуре и давлениях $P \sim (0,1-0,3)$ МПа. Сплошные линии на данной фигуре соответствуют функциям аппроксимации, полученным из уравнений баланса частиц [4]. Здесь $\Delta P = P_1 - P_2$, где P_1 и P_2 — давления газа в полостях, где расположены входной и выходной встречноштыревые преобразователи (ВШП). По характерному ходу экспериментальных кривых видно, что в некоторый момент времени между полостями, соединенными каналом, устанавливается стационарная разность ΔP . Этот факт говорит о том, что наступило равновесие между потоком газа, вызванным ПАВ, и обратным течением Пуазейля, обусловленным наличием ΔP . Функциональная зависимость коэффициента поглощения волн Рэлея α_L , связанного с газовым нагружением, от стационарной величины ΔP будет получена ниже.

По теории Арцта [2] коэффициент α_L определяется следующим образом:

$$\alpha_L = \rho_g V_g / \rho_s V_s \lambda_s, \quad (1)$$

где ρ_g , V_g — плотность газа и скорость звука в газе; ρ_s , V_s , λ_s — плотность пьезокристалла, скорость звука и длина волны ПАВ.

Здесь и далее индекс «g» относится к параметрам газа, а индекс «s» — к пьезокристаллу. Следует также отметить, что зависимость (1) получена в приближении сплошной среды для окружающего газа.

Как известно, при поглощении акустической волны происходит передача импульса газовой среде, в которой распространяется звук. В результате этого возникает направленное движение газа — акустическое течение. Уравнение для скорости потока газа, вызванного звуком, было получено Ниборгом [5]. Там же дается интерпретация силы F , действующей на единицу объема газа и связанной с поглощением звуковой волны. При сопоставлении теории акустических течений с теорией Арцта нетрудно получить выражение для F через коэффициент α_L :

$$F = 4\pi^2 \beta \rho_s \lambda_s a_0^2 f^2 \alpha_L V_s / V_g. \quad (2)$$

Здесь f — частота ПАВ, a_0 — максимальная амплитуда смещения в волне сжатия, которая рассчитывается из условия равенства амплитуде вертикального смещения в волне Рэлея, β — коэффициент поглощения звука в газе. Значения β определялись по формуле Стокса — Кирхгофа [6].

При решении уравнения движения [5] необходимо учесть геометрию данной задачи. Направление волн сжатия, изучаемых поверхностью в газ, определяется углом δ , который, согласно [2], выражается через отношение скоростей V_g и V_s : $\sin \delta = V_g / V_s$. Также необходимо учесть экспоненциальный характер затухания

звуковых волн в газе. В соответствии с вышеизложенным и при подстановке (2) в уравнение движения получено решение для усредненной по высоте канала d скорости потока газа $\langle U \rangle$:

$$\langle U \rangle = A \cos^2 \delta \{ [\exp(-2\beta d / \cos \delta) - 1] \cos \delta / \beta d + \exp(-2\beta d / \cos \delta) + 1 \} / 8\eta\beta^2 \equiv AB \cos^2 \delta / 8\eta\beta^2. \quad (3)$$

Здесь $A = 4\pi^2 \beta \rho_s \lambda_s a_0^2 f^2 \alpha_L$. Решение (3) справедливо для режима полного затухания волны сжатия на расстояниях, не больших d [4].

В стационарных условиях поток газа, инициированный ПАВ, для широкого ($b/d \sim 10^2$) и длинного ($l/d \sim 10^3$) канала уравнивается обратным течением Пуазейля, скорость которого определяется соотношением:

$$\langle U_{\Pi} \rangle = d^2 \Delta P / 12\eta l, \quad (4)$$

где l — длина канала. Сопоставляя (3) и (4), необходимо учесть, что $\langle U_{\Pi} \rangle$ определяется на всей ширине канала b , $\langle U \rangle$ только на ширине звукового пучка в канале, который определяется апертурой ВШП W . В результате выражение для α_L через стационарную величину ΔP имеет вид:

$$\alpha_L = d^2 b \Delta P \beta / 6\pi^2 W l \rho_s \lambda_s a_0^2 f^2 \cos^2 \delta B. \quad (5)$$

При проведении экспериментов использовался плоский канал с размерами: $d = 0,016$ мм, $b = 6,45$ мм, $l = 28$ мм, $W = 2,20$ мм.

На рис. 2 приведены значения коэффициента поглощения α_L (5), полученные из экспериментальных данных по стационарной ΔP для ксенона 1 и криптона 2. На фиг. 2 представлены также теоретические зависимости коэффициента поглощения от давления газа $\alpha_L(P)$, рассчитанные по формуле (1). Плотность ρ_g в (1) рассчитывалась через давление газа в системе P : $\rho_g = Pm/kT$, где m — молекулярная масса газа, k — постоянная Больцмана, T — температура газа. По существу P/kT определяет числовую плотность газа.

Сравнение данных показывает удовлетворительное согласие полученных значений α_L с теорией Арцта в пределах отсутствия влияния второй плоскости канала. Это свидетельствует о корректности предлагаемого метода определения α_L .

Таким образом, предложенная методика, по нашему мнению, является перспективной для определения коэффициентов поглощения ПАВ в газе и позволяет существенно расширить диапазон измерений по частоте.

ЛИТЕРАТУРА

1. Слободник А. Материалы и их влияние на характеристики устройств // Поверхностные акустические волны / Под ред. Олипера А. М.: Мир, 1981. С. 270–354.
2. Дрансфельд К., Зальцманн Е. Возбуждение, обнаружение и затухание высокочастотных упругих поверхностных волн / Под ред. Мэзона У. М.: Мир, 1974. Т. 7. С. 250–306.
3. Елфимов А. А., Породнов Б. Т., Селезнев В. Д., Флягин А. Г. Установка для исследования действия поверхностных акустических волн на течение газа // ПТЭ. 1987. № 2. С. 177–179.
4. Елфимов А. А., Породнов Б. Т., Селезнев В. Д., Флягин А. Г. Иницирование поверхностной акустической волной газового потока в плоской щели // Акуст. журн. 1988. Т. 34. № 2. С. 251–255.
5. Ниборг В. Акустические течения / Под ред. Мэзона У. М.: Мир, 1969. Т. 2. Ч. Б. С. 302–376.
6. Ультразвук / Под ред. Голяминой И. П. М.: Сов. энциклопедия, 1979. 400 с.

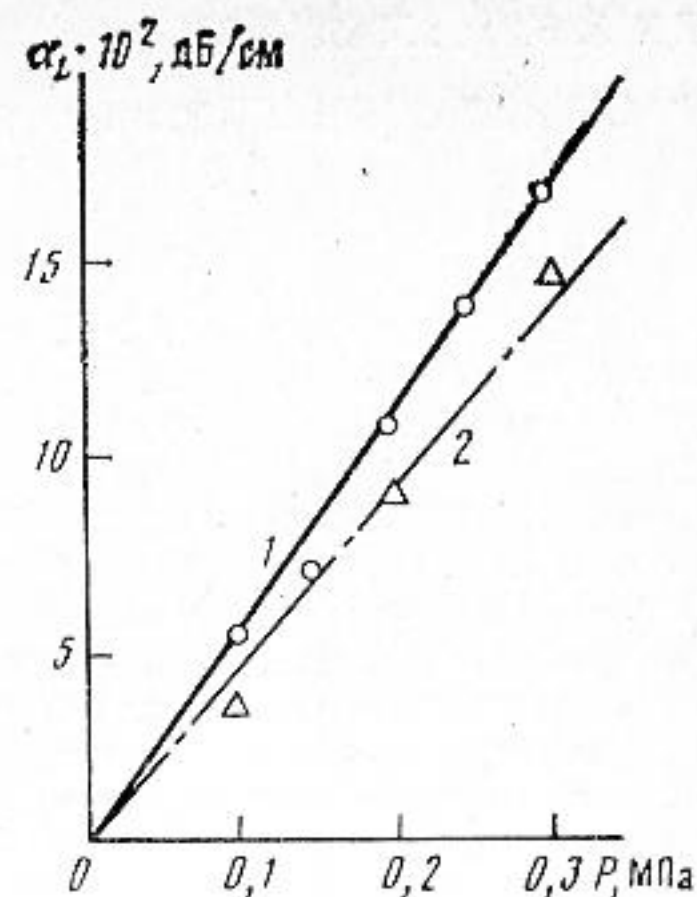


Рис. 2. Зависимость коэффициента поглощения α_L от давления газа. Эксперимент: 1 — Хе, 2 — Кр

Уральский политехнический институт

Поступило в редакцию
19.1.1988