

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

УДК 534.113:534.286

В. П. МИТРОФАНОВ, В. Н. ФРОНТОВ

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЫСОКОДОБРОТНОГО МЕХАНИЧЕСКОГО РЕЗОНАТОРА, ИЗГОТОВЛЕННОГО ИЗ ПЛАВЛЕННОГО КВАРЦА

В экспериментальных гравитационных исследованиях важное место занимает проблема повышения чувствительности существующих детекторов гравитационных волн. В созданных в настоящее время детекторах антенной является механический резонатор квадрупольного типа — массивный металлический цилиндр [1]. В. Б. Брагинским [2] предложены диэлектрические антенны. Внутреннее трение в диэлектрических кристаллах и стеклах существенно меньше, чем в металлах, а следовательно, и собственные тепловые шумы такой антенны значительно меньше, чем металлической. Таким образом, диэлектрические антенны даже существенно меньших размеров превзошли бы по чувствительности существующие металлические. При этом упростится проблема создания высокочувствительных гравитационных антенн, работающих при низких температурах. Возникает задача исследования возможности создания высокочувствительных механических резонаторов и их поведения в низкотемпературной области. В данной работе исследуется поглощение продольных акустических волн в резонаторе, изготовленном из плавленого кварца высокого качества с содержанием примесей $\approx 10^{-4}\%$.

Резонатором являлся цилиндрический стержень длиной 418 мм и диаметром 30 мм. Стержень подвешивался горизонтально на петле из тонкой вольфрамовой проволоки диаметром 100 мкм. Плоскость подвеса проходит через геометрический центр стержня, так что он находится в равновесном положении. В стержне возбуждались продольные упругие колебания на основной его резонансной частоте 6,9 кГц. При этом плоскость подвеса совпадает с узловой плоскостью колеблющегося резонатора.

Блок-схема системы возбуждения и регистрации колебаний резонатора изображена на рис. 1. Торцы стержня химическим способом покрывались серебром. Напротив одного из торцов параллельно ему на расстоянии 0,3 мм располагались две металлические пластины, на которые от звукового генератора подавалось переменное электрическое напряжение с частотой, равной половине резонансной частоты стержня. Возникающие между пластинами и металлическим покрытием торца электростатические силы возбуждали в резонаторе механические колебания. Регистрация колебаний резонатора осуществлялась с помощью емкостного датчика, расположенного у другого торца стержня.

Емкость, образованная серебряным покрытием торца и расположенными параллельно ему двумя электродами, входила в цепь колебательного контура высокочастотного генератора ($f_{\text{ген}} \approx 15$ мГц). Колебания стержня приводят к изменению величины зазора, а следовательно, емкости датчика и соответственно изменению частоты колебаний генератора. Далее частотномодулированный сигнал преобразуется в амплитудномодулированный, и колебания стержня регистрируются на экране осциллографа. После того как в стержне возбуждались механические колебания достаточной амплитуды, генератор отключался. Добротность резонатора определялась по величине времени затухания его свободных колебаний. Точность измерений составляла $\approx 3\%$.

Измерения проводились в двух режимах. В первом система регистрации колебаний оставалась включенной в течение всего цикла измерения времени затухания, т. е. уменьшения уровня амплитуды собственных колебаний стержня в e раз. Во втором режиме в некоторый момент отмечался начальный уровень амплитуды колебаний, затем система индикации отключалась и включалась снова только непосредственно перед моментом регистрации уровня уменьшения амплитуды. В обоих случаях время

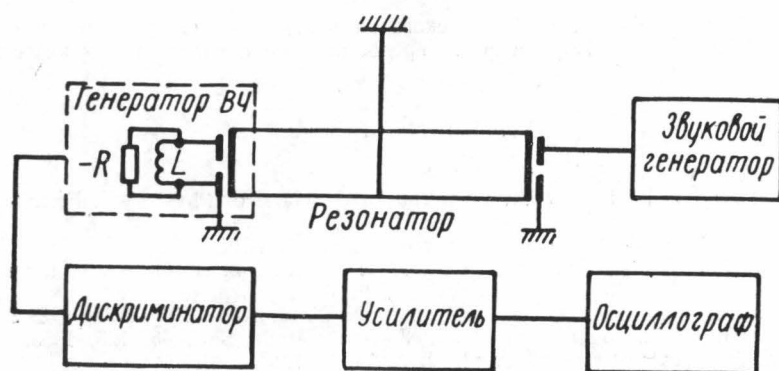


Рис. 1. Блок-схема установки для измерения добротности механических резонаторов звуковых частот

затухания колебаний резонатора было одним и тем же в пределах ошибок измерений. Таким образом, можно утверждать, что потери на обратное механоэлектрическое преобразование в системе регистрации колебаний ничтожно малы в данном случае по сравнению с собственными потерями в механическом резонаторе.

Измерение затухания механических колебаний в резонаторе проводилось в охлаждаемой вакуумной камере при давлении 10^{-1} мм рт. ст. в диапазоне температур $100-300^\circ\text{K}$. Вакуум необходим, чтобы исключить потери в резонаторе на излучение звуковых волн.

Добротность механического резонатора определяется внутренним трением в материале, потерями в поверхностном слое резонатора и потерями в креплении резонатора. Что касается последних, то в данном эксперименте нами не наблюдалась какая-либо существенная зависимость добротности резонатора от материала нити подвеса и ее длины (исследовались вольфрам, молибден, шелк). Кроме того, для аналогичных механических резонаторов, изготовленных из монокристаллов синтетического сапфира и подвешенных на таких же нитяных подвесах, нами получено значение величины добротности $3 \cdot 10^7$ при комнатной температуре. Все это говорит о том, что в данном случае не потери в подвесе определяли предельную добротность механического резонатора из плавленого кварца.

Потери в поверхностном слое резонатора объясняются возникновением аномально больших тепловых потоков в хаотически ориентированных частицах поверхностного слоя [3]. Уменьшение этих потерь достигается тщательной обработкой поверхности резонатора [4]. Так, первоначально поверхность кварцевого стержня была грубо шлифована и просветлена. При этом он имел добротность $3 \cdot 10^5$. После тщательной шлифовки, полировки и травления в плавиковой кислоте величина добротности резонатора поднялась до $4,4 \cdot 10^6$ при комнатной температуре.

На рис. 2 приведена зависимость затухания в резонаторе из плавленого кварца от температуры. Минимальное значение потерь достигается при температуре $T \approx 250^\circ\text{K}$ и соответствует добротности $5,2 \cdot 10^6$. Такое значение приближается к величине добротности, полученной на резонаторах из кристаллического кварца [4], и, по нашим сведениям, достигнуто впервые. Значительное увеличение потерь при понижении тем-

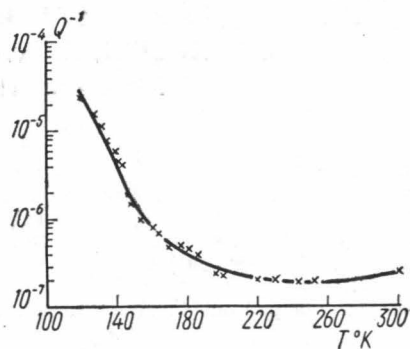


Рис. 2. Температурная зависимость поглощения продольных акустических волн частотой 6,9 кГц в плавленном кварце

пературы резонатора указывает на наличие пика затухания, имеющего место при температуре ниже 120°K . Этот пик при $T \approx 35^\circ \text{K}$, свидетельствующий о релаксационном процессе, наблюдался, например, в работах [5, 6]. Тот факт, что характер наблюдаемого нами низкотемпературного поведения затухания в образце плавленого кварца высокого качества совпадает с поведением затухания в образцах плавленого кварца с относительно большим содержанием примесей [7], подтверждает данное в [6, 8] объяснение низкотемпературных потерь в плавленном кварце структурной релаксацией.

Авторы благодарят В. Б. Брагинского за постоянные консультации и внимание к работе, а также А. А. Парменова за предоставление образцов высококачественного плавленого кварца.

ЛИТЕРАТУРА

1. Weber J. Phys. Rev. Lett., 17, 1228, 1966.
2. Braгинский V. B. 56-th course, International School of Physics «E. Fermi» (Italy), 1972.
3. Смагин А. Г. «Вопросы радиоэлектроники», вып. 11, 1964.
4. Смагин А. Г., Ярославский М. И. Пьезоэлектричество кварца и кварцевые резонаторы. М., 1970.
5. Fine M. E., Van Duynе H., Kenney N. T. J. Appl. Phys., 25, 402, 1954.
6. Anderson O. L., Bommel H. E. J. Am. Ceram. Soc., 38, 125, 1955.
7. Marx J. W., Sivertsen. J. Appl. Phys., 24, 81, 1953.
8. Strakna R. E. Phys. Rev., 123, 2020, 1961.

Поступила в редакцию
30.3 1973 г.

Кафедра
физики колебаний

УДК 621.375.933

А. А. БЕЛОВ, Л. С. ЛЕПНЕВ

ИССЛЕДОВАНИЕ СТАБИЛЬНОСТИ ПАРАМЕТРИЧЕСКОГО СВЕРХРЕГЕНЕРАТИВНОГО ВИДЕОУСИЛИТЕЛЯ С БИГАРМОНИЧЕСКОЙ НАКАЧКОЙ

Известно, что сверхрегенеративные параметрические видеоусилители [1—3] обладают такими важными для практики свойствами, как большой коэффициент усиления и широкая полоса пропускания. В данной работе исследуется стабильность коэффициента усиления параметрического сверхрегенеративного видеоусилителя с бигармонической накачкой [3].

Выражение для коэффициента усиления K по напряжению такого усилителя получено в работе [4]. Для частот сигнала, стремящихся к нулю, оно имеет вид

$$K = k_g \frac{A_1 \vartheta}{4U (\vartheta + m_0)} \left(1 + \frac{m_0 \Phi^2}{2\vartheta} \frac{\xi^2}{\vartheta^2 - m_0^2} \right) \frac{e^{-\frac{\alpha}{\beta} \sin \psi} I_0 \left(-j \frac{\alpha}{\beta} \sin \psi \right)}{\vartheta + m_0 \sin \psi}, \quad (1)$$

где k_g — коэффициент передачи фазового демодулятора, A_1 — амплитуда первой гармоники напряжения накачки, ϑ характеризует затухание колебательного контура усилителя, $\vartheta = \vartheta - m_0$ — среднее значение затухания регенерированного колебательного контура, U — напряжение смещения параметрических диодов, m_0 и α характеризуют закон изменения коэффициента модуляции m -емкости параметрических диодов $\left(m = 2m_0 \left(1 + \frac{\xi \alpha}{m_0} \sin \Omega t \right) \right)$, где Ω — частота суперизации), ξ — относительная расстройка колебательного контура усилителя относительно частоты ω первой гармоники накачки, $\beta = \frac{\Omega}{\omega}$, $I_0 \left(-j \frac{\alpha}{\beta} \sin \psi \right)$ — функция Бесселя от чисто мнимого аргумента, ψ — сдвиг фаз между первой и второй гармониками напряжения накачки, $\Phi = \psi + \frac{\pi}{2}$. При оптимальной настройке усилителя (максимум K при заданных