# КВАРЦЕВЫЙ РЕЗОНАТОР ДОБРОТНОСТЬЮ ОКОЛО $120 \cdot 10^6$ ПРИ ТЕМПЕРАТУРЕ 2°К*

*А.Г.Смагин, В.И.Никольская*

Изучение механизмов поглощения, обусловленных неупругими процессами в кристаллах кварца, проводилось путем измерения внутреннего трения в резонаторах при низких и сверхнизких температурах. Резонаторы представляли собой кварцевые элементы в форме двояковыпуклых линз АТ-среза, закрепленные специальным способом в квазинейтральной плоскости и помещенные в вакуумный баллон. Их возбуждали в кристаллодержателе с зазорами на основной частоте 1000 *кгц*.

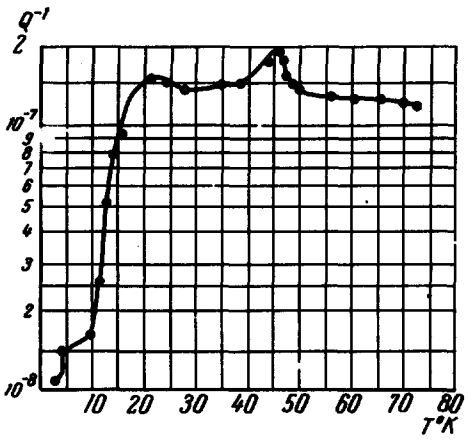


Рис.1. Внутреннее трение кварца АТ-среза частотой 1 *Мгц*(№ 7) в зависимости от температуры

Измерение величины внутреннего трения пьезоэлектрического кварца осуществляли с помощью метода автоматической регистрации времени свободных затухающих колебаний [1]. Добротность вычисляли из определений длительности уменьшения амплитуды при свободном затухании колебаний; за меру внутреннего трения принимали величину $Q^{-1}$, обратную добротности. Прибор позволяет измерять добротность с погрешностью, не превышающей нескольких процентов.

Для измерения температуры использовали платиновый термометр сопротивления, имеющий погрешность ±0,01% в интервале температур 12-300°К и германиевый термометр, имеющий погрешность ±0,1%, в интервале температур 1,5-7,0°К.

Исследуемый образец кварца запаивали в контейнер из красной меди и помещали в криостат с жидким гелием. Криостат представляет собой

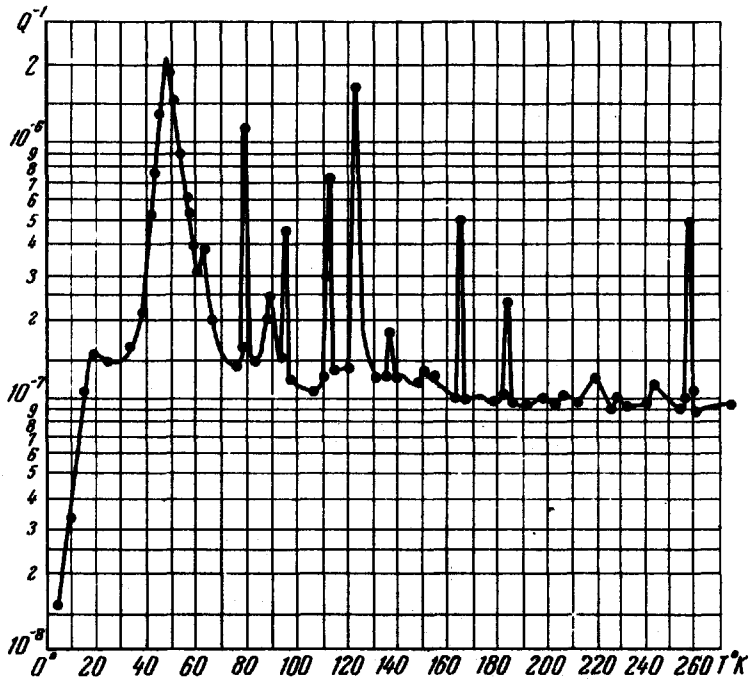


Рис.2. Внутреннее трение кварца АТ-среза частотой 1 *Мгц* (№ 30) в зависимости от температуры

сосуд Дьюара с двойным охлаждением: во внешний сосуд заливают жидкий азот, а затем охладив систему до температуры 77°К, во внутренний сосуд заливают жидкий гелий.

При измерениях была получена зависимость внутреннего трения нескольких образцов кварца от температуры в интервале 2-300°К.

Результаты измерений показывают, что диссипативно-температурные характеристики кварца имеют два ярковыраженных пика релаксационных процессов, обусловленных поглощением энергии при 20 и 50°К, и множество резко очерченных острых пиков, обусловленных влиянием связанных колебаний в широком интервале азотных температур (рис.*1* и *2*).

Некоторые авторы 20°К – пик поглощения приписывают дислокациям [2], другие – фонон-фононным взаимодействиям [3], а 50°К – пик – присутствию щелочных ионов $Na^+$ [4]. Первоначальная гипотеза объясняла 50°К – пик особенностью неупругого поведения кварца вследствие колебаний кислородных атомов [5].

Проведенные нами измерения показывают, что интенсивность 50°К-пика поглощения изменяется от образца к образцу. Если бы была справедлива гипотеза о том, что за 50°К – пик ответственны колебания кислородных атомов, то интенсивность этого пика должна быть величиной постоянной. Это предположение противоречит экспериментальным данным, поэтому можно считать доказанным, что не оно обуславливает релаксационное поглощение при 50°К, а наличие ионов щелочных элементов в структурных каналах кристалла.

При понижении температуры от 300 до 2°К добротность кварцевых резонаторов, колеблющихся на основной частоте 1000 кгц, возрастала приблизительно в 20 раз и достигала в отдельных случаях около $120 \cdot 10^6$. Это наивысшее значение добротности, о которой когда-либо сообщалось, для колеблющегося макроскопического тела.

Полученные экспериментальные данные служат основанием для создания низкотемпературного кварцевого генератора, который может иметь вследствие исключительно большой величины добротности самую высокую кратковременную стабильность генерируемой частоты и вследствие весьма низкой температуры высокую долговременную стабильность, практически сравнимую с атомно-молекулярными стандартами.

Поступило в редакцию
30 мая 1967 г.

## Литература

[1] А.Г.Смагин. Прецизионные кварцевые резонаторы. М., Стандартгиз, 1964.
[2] H.E.Bömmel, W.P.Mason, A.W. Warner. Phys. Rev., 99, 894, 1955.
[3] W.P.Mason. Acoust. Soc. Amer., 32, 452, 1960.
[4] D.B.Fraser. J.Appl. Phys., 35, 10, 1964.
[5] J.C.King. Phys. Rev., 109, 1552, 1958.

---

* Доложено 4 ноября 1966 г. на Всесоюзной конференции по внутреннему трению в кристаллах (г.Ереван).