

УДК 539.67:621.315.592

ВНУТРЕННЕЕ ТРЕНИЕ В КВАРЦЕВОМ СТЕКЛЕ ПРИ УМЕРЕННЫХ ТЕМПЕРАТУРАХ

Б. С. Лунин, С. Н. Торбин

(кафедра физической химии)

В работе приведены результаты исследования акустической добротности полусферического резонатора на частоте 8,4 кГц в диапазоне температур от -80 до 300° . Максимум акустической добротности ($5,6 \cdot 10^7$) достигается при температуре 105° .

Исследованию процессов внутреннего трения в кварцевых стеклах посвящено большое количество работ [1–6]. Наиболее подробно внутреннее трение изучали при низких температурах, когда оно определяется в основном структурной релаксацией – явлением, характерным для стеклообразного состояния. Значительно менее изучены природа и механизмы внутреннего трения при умеренных температурах (от -100 до 300°), хотя эта температурная область является рабочей зоной для большинства современных приборов, использующих механические резонаторы из кварцевого стекла (авионика, элементы гравитационных антенн и т. д.), и поэтому с прикладной точки зрения представляет наибольший интерес [7]. Установление факторов, определяющих в этих условиях акустическую добротность таких резонаторов, позволяет прогнозировать характеристики оборудования, а также усовершенствовать технологические процессы при его изготовлении.

Кроме того исследование механизма акустических потерь при умеренных температурах может дать информацию о состоянии поверхности стекла и характере структурных дефектов материала, что представляет фундаментальный научный интерес.

Цель данной работы состояла в экспериментальном исследовании внутреннего трения в чистом кварцевом стекле КУ-1 в интервале температур от -80 до 300° . Данный сорт кварцевого стекла (тип III [8]) изготавливается путем гидролиза тетраоксида кремния в водородно-кислородном пламени и характеризуется высокой химической чистотой (суммарная концентрация примесей, кроме ОН-групп, ~ 10 ммоль), отсутствием мелкозернистой неоднородности и значительным содержанием гидроксильных групп (около 1000 ммоль).

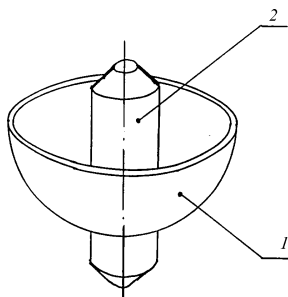


Рис. 1. Конструкция полусферического резонатора.

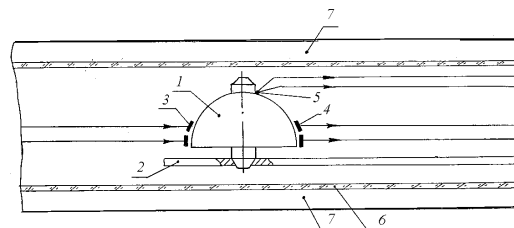


Рис. 2. Конструкция измерительной ячейки

В эксперименте мы исследовали акустическую добротность полусферического резонатора волнового твердотельного гироскопа, изготовленного из этого стекла миасским научно-производственным предприятием «Медикон». Конструктивно полусферический резонатор (рис. 1) представляет собой тонкостенную (толщина около 1 мм) полусферическую оболочку 1 диаметром 30 мм с крепежной ножкой 2, проходящей через полюс полусферы [9]. Благодаря высокой массовой сбалансированности потери энергии упругих колебаний через крепежную ножку практически отсутствуют, что делает такой резонатор чрезвычайно удобным для проведения акустических измерений, а высокое соотношение *поверхность/объем* позволяет исследовать не только акустические свойства самого кварцевого стекла, но и влияние поверхности на диссипационный процесс. Частота изгибных колебаний оболочки определяется модой колебаний: в наших опытах использовалась 2-я, низшая мода колебаний ($\sim 8,4$ кГц).

Методика эксперимента была аналогична описанной в [10]. Эксперимент проводили в вакуумной термокамере (рис. 2). Полусферический резонатор 1 устанавливался в конусное отверстие подставки 2. На этой подставке расположены две пары электродов 3 и 4, предназначенных для возбуждения и измерения изгибных колебаний полусферической оболочки. Термопара 5 (медь–константан) позволяет измерять температуру поверхности резонатора. Вся конструкция размещается внутри кварцевой вакуумной камеры 6, снаружи камеры устанавливается электронагреватель или холодильник, охлаждаемый жидким азотом (7). На резонансной частоте f возбуждались изгибные колебания оболочки с амплитудой около 0,1 мкм, затем с помощью емкостного датчика, образованного парой электродов 4, измерялось время затухания свободных колебаний τ .

Акустическую добротность (Q) резонатора определяют по формуле $Q = \pi \cdot \tau \cdot f$. Точность определения τ (и соответ-

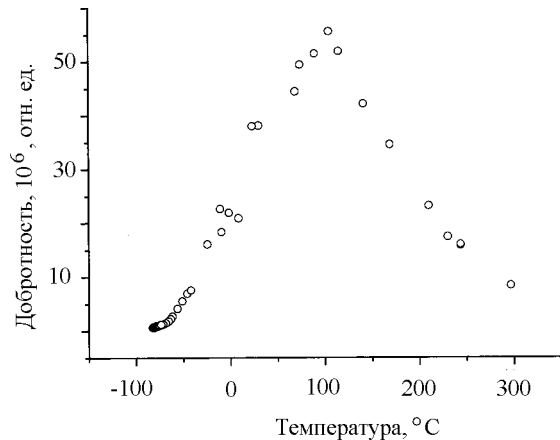


Рис. 3. Добротность полусферического резонатора в диапазоне температур от -80 до 300°

ственно Q) составляла около 3%. Температура резонатора рассчитывалась по его резонансной частоте на основании предварительно измеренной температурно-частотной ха-

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Anderson O.L., Bommel H.E. // J. Amer. Ceram. Soc. 1955. **38**. P. 125.
2. Fine M.E., Duyne H.V., Kenney N.T. // J. Applied Physics. 1954. **25**. P. 402.
3. Marx J.W., Sivertsen J.M. // J. Ap. Phys. 1953. **24**. P. 81.
4. Anderson W.P., Halperin B.I., Varma C.M. // Phyl. Mag. **25**. 1972. P. 1.
5. Hunklinger S., Arnold W., Stein St., Nava R., Dransfeld K. // Phys. Let. 1972. **42A**. P. 253.
6. Fraser D.B. // J. Ap. Phys. 1970. **41**. P. 6.
7. Startin W.J., Beilby M.A., Saulson P.R. // Rev. Scientific Instruments. 1998. **69**. P. 3681.
8. Bruckner R. // J. Non-Cryst. Solids. 1970. **5**. P. 123.
9. Bodunov B.P., Lopatin V.M., Lunin B.S. // 2nd Saint Petersburg International Conference on Gyroscopic Technology and Navigation, May 24–25, 1995. Saint Petersburg, 1995, part II, P. 89.
10. Lunin B.S., Torbin S.N., Danchevskaya M.N., Batov I.V. // Moscow University Chemistry Bulletin. 1994. **49**. P. 19.
11. Lunin B.S., Torbin S.N., Smirnov V.N. // XVIII International Congress on Glass, July 5–10, 1998, San Francisco, Proceeding, D3. P. 36.

Поступила в редакцию 19.01.99

рактеристики резонатора. Точность определения температуры при этом составляла около 3° . Перед измерениями резонатор подвергался специальной химической обработке для удаления нарушенного поверхностного слоя, возникающего в процессе изготовления резонатора, а также термообработке для удаления атмосферной воды, сорбированной поверхностью [11].

На рис. 3 показаны полученные экспериментальные значения акустической добротности. Хорошо видно, что максимум акустической добротности достигается при температуре 105° и составляет $5,6 \cdot 10^7$. Рост внутреннего трения при более низких температурах связан, очевидно, с процессом структурной релаксации, это высокотемпературное крыло пика внутреннего трения с максимумом при температуре около 50 К. Природа потерь внутреннего трения справа от максимума добротности неочевидна. Здесь влияющими факторами могут быть примеси, поверхностные и объемные структурные дефекты, структурная вода, а также высокотемпературный фон. Эта область продолжает оставаться объектом дальнейших исследований.

Авторы выражают благодарность Б. П. Бодуну, директору НПП «Медикон» (Миасс), за предоставленный для исследований полусферический резонатор.