

## ЛИТЕРАТУРА

1. *Сетте Д.* Исследование зародышей кавитации.— В кн.: Подводная акустика/Пер. с англ./под ред. Бреховских Л. М. М.: Мир, 1970. Т. 2. С. 195—221.
2. *Сиротюк М. Г.* Экспериментальные исследования ультразвуковой кавитации.— В кн.: Мощные ультразвуковые поля/Под ред. Розенберга Л. Д. М.: Наука, 1968. С. 167—220.
3. *Флинн Г.* Физика акустической кавитации в жидкостях.— В кн.: Физическая акустика/Пер. с англ./под ред. Розенберга Л. Д. М.: Мир, 1967. Т. 1. Ч. Б. С. 7—138.

Одесский политехнический институт

Поступило в редакцию  
6.I.1987

УДК 534.2:532;534.2:533;534.2:539.2

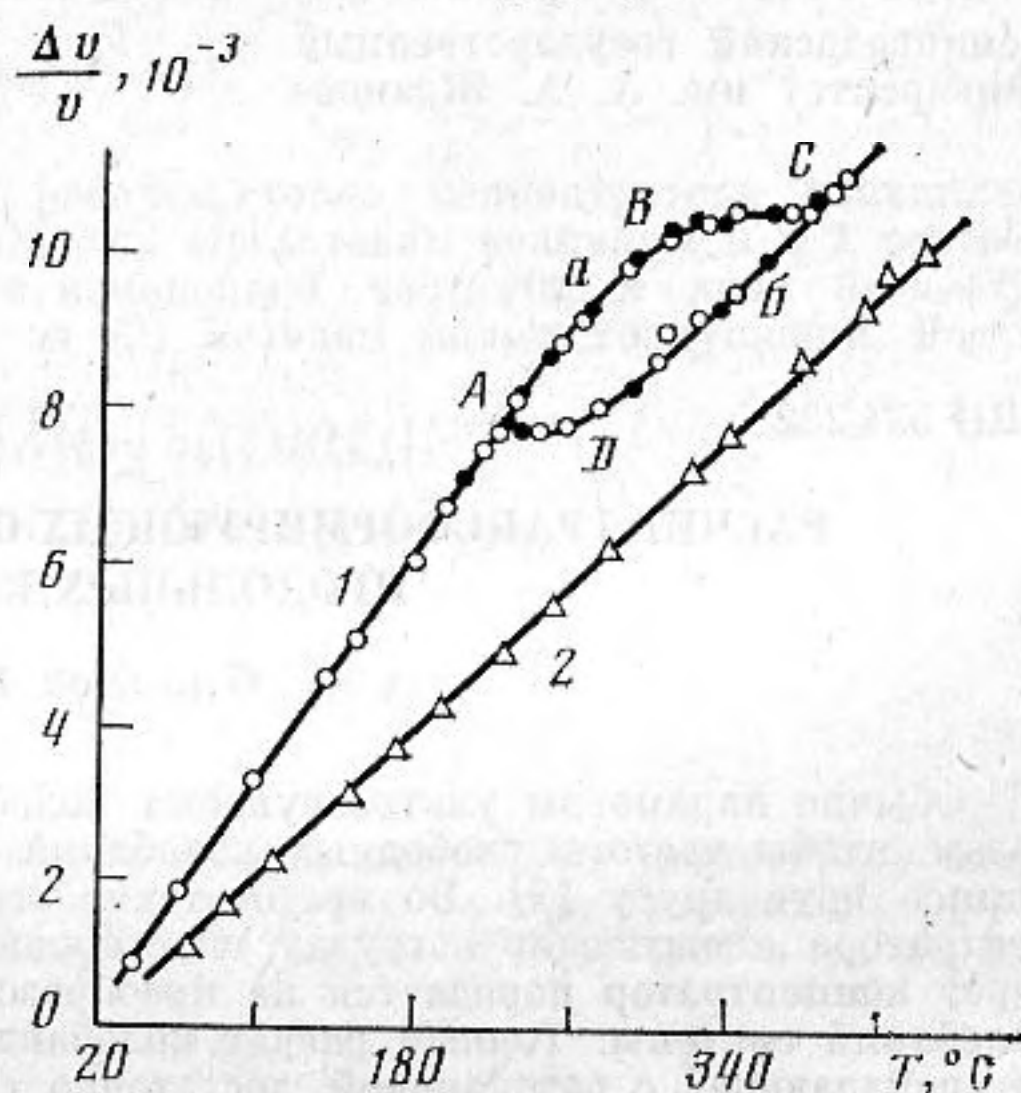
### АНОМАЛИИ СКОРОСТИ УЛЬТРАЗВУКА ПРИ ФАЗОВЫХ ПРЕВРАЩЕНИЯХ В ГАЛОИДОМЕДНЫХ ФОТОХРОМНЫХ СТЕКЛАХ

*Недбай А. И., Ходжахонов И. Т., Чарная Е. В.*

Гетерогенные фотохромные стекла (ФХС) широко используются в современном приборостроении и офтальмологии [1]. Фотохромные свойства таких стекол обусловлены наличием микрокристаллических включений в стеклянной матрице, возникающих под действием специальной термообработки [2]. Галоидомедные ФХС представляют собой матрицу на основе боросиликатного стекла с микрокристаллами  $\text{CuCl}$ , имеющими в зависимости от режима термообработки размеры от десятков до сотен и более ангстрем [2]. В высокотемпературной области около  $200\div 300^\circ\text{C}$  происходят процессы плавления и рекристаллизации микрокристаллов  $\text{CuCl}$ , исследуемые оптическими и рентгеновскими методами. Размерные эффекты приводят к различию температур плавления и рекристаллизации, что проявляется в гистерезисе рассеяний света и рентгена под малыми углами при повышении и понижении температуры [2].

Ценные сведения о фазовых превращениях в ФХС могут дать измерения акустических параметров и в особенности скорости ультразвука, которая, как известно, является весьма чувствительной к различного рода структурным изменениям. Однако до настоящего времени таких исследований гетерогенных ФХС не проводилось, несмотря на то, что они должны быть не только информативными в плане

Зависимость относительного изменения скорости ультразвука  $\Delta v/v$  от температуры  $T$  в ФХС (1), *a* — измерения при первом и *b* — при втором прохождении области гистерезиса по температуре и в стекле ТК-23 (2)



изучения физических процессов, происходящих в ФХС, но и могут привести к разработке сравнительно простых способов контроля ФХС.

В настоящей работе представлены данные о впервые обнаруженном явлении гистерезиса скорости ультразвука при фазовых превращениях в галоидомедных ФХС.

Образцы представляли собой параллелепипеды  $15 \times 10 \times 7$  мм<sup>3</sup>, вырезанные из одного блока заготовки ФХС и подвергнутые термообработке различной длительности при температурах 590 и 580°С. Измерения проводились импульсно-фазовым методом [3] с использованием кварцевых линий задержки и сплава Ga—Sn в качестве акустического контакта. Точность обработки поверхности на параллельность составляла не менее 1 мкм. Продольные ультразвуковые колебания возбуждались на частоте от 10 до 20 МГц с помощью преобразователей из ниобата лития. Погреш-



ность относительных измерений скорости не превышала 0,5 м/с. Температура изменялась со скоростью  $1 \div 2^\circ \text{К/мин}$ . Перед измерениями образцы термостатировались в течение  $30 \div 40$  мин с точностью 3 К.

На фигуре приведен график температурной зависимости относительного изменения скорости ультразвука  $\Delta v/v$  для образца ФХС, подвергнутого термообработке при  $T=580^\circ \text{С}$  в течение 24 ч в режиме нагрева (участок  $ABC$ ) и охлаждения (участок  $CDA$ ) — кривая 1. При повторном прохождении по температуре области гистерезиса вид кривой  $v(T)$  воспроизводился (см. фигуру). Аналогичные кривые наблюдались для всех исследованных образцов ФХС в отличие от образца стекла, имеющего близкий состав, но без фотохромирующих добавок (кривая 2). Исходя из акустических данных можно выявить различие температур плавления и рекристаллизации микрокристаллов  $\text{CuCl}$ . При повышении температуры в области  $B$  начинается процесс плавления кристаллической фазы, продолжающийся на интервале  $BC$ . Значительное понижение температурного коэффициента скорости ультразвука на участке  $BC$ , очевидно, обусловлено уменьшением упругих модулей микрокристаллов в результате плавления. При уменьшении температуры участок  $CD$  соответствует сохранению расплавленного состояния  $\text{CuCl}$ . В области температур  $D$  начинается кристаллизация, заканчивающаяся в области  $A$ . Принимая середину температурного интервала  $BC$  за температуру плавления и середину интервала  $DA$  за температуру рекристаллизации, можно найти их разность, для данного образца составляющую величину  $\Delta T \approx 90 \text{ К}$ .

Измерения, проведенные в остальных образцах, показали, что значение  $\Delta T$  зависит от режима термообработки, т. е. в соответствии с [2] от размера микрокристаллов  $\text{CuCl}$ . Отметим, что относительное изменение скорости ультразвука при гистерезисе  $\Delta v/v \approx (1 \div 2) \cdot 10^{-3}$  согласуется с концентрацией меди в ФХС порядка  $5 \cdot 10^{-3}$ .

Таким образом, измерение температурной зависимости скорости ультразвука может служить методом исследования фазовых превращений в гетерогенных ФХС. При этом коэффициент поглощения ультразвука в пределах погрешности 10% не имеет особенностей в области плавления микрокристаллов.

В заключение авторы благодарят Цехомского В. А. за предоставление образцов ФХС.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Цехомский В. А. Фотохромные оксидные стекла // Физика и химия стекла. 1978. Т. 4. № 1. С. 3–21.
2. Голубков В. В., Екимов А. И., Онущенко А. А., Цехомский В. А. Кинетика роста микрокристаллов  $\text{CuCl}$  в стеклообразной матрице // Физика и химия стекла. 1981. Т. 7. № 4. С. 397–401.
3. Труэлл Р., Эльбаум И., Чик Б. Ультразвуковые методы в физике твердого тела. М.: Мир, 1972. 307 с.

Ленинградский государственный университет им. А. А. Жданова

Поступило в редакцию  
24.III.1987

УДК 534.232

### РАСЧЕТ ТРАНСФОРМИРУЮЩИХ СВОЙСТВ КОНЦЕНТРАТОРОВ ПРОДОЛЬНЫХ КОЛЕБАНИЙ

Сазонов И. А.

Обычно параметры ультразвуковых колебательных систем подбирают таким образом, чтобы частоты свободных колебаний преобразователя и концентратора равнялись друг другу [1]. Во время технологического процесса рабочий торец концентратора испытывает нагрузку со стороны обрабатываемой среды. Эта нагрузка через концентратор передается на преобразователь и меняет амплитуду и частоту колебаний системы. Точный расчет колебаний ультразвуковой системы на частоте, не совпадающей с резонансной, достаточно трудоемок. Однако если частота изменилась не сильно, а нагрузка, передаваемая на преобразователь, мала по сравнению с волновым сопротивлением преобразователя, то можно предложить упрощенный расчет колебательной системы.

Нагрузка на преобразователь со стороны концентратора  $Z$  является функцией частоты  $\omega$  и импеданса  $z$ , нагружающего рабочий торец концентратора:  $Z=Z(\omega, z)$ , причем  $Z(\omega_0, 0)=0$ , где  $\omega_0$  — частота свободных колебаний концентратора. Если  $|Z| \ll Z_n$ ,  $|\Delta\omega_0| \ll \omega_0$ , где  $Z_n = \rho_n c_n S_n$  — волновой механический импеданс преобразователя,  $\Delta\omega = \omega - \omega_0$ , то нагрузку на преобразователь можно приближенно записать в виде  $Z(\omega, z) \approx z_\omega(\omega_0, 0)\Delta\omega + Z_z(\omega_0, 0)z$ , где  $Z_\omega = \partial Z / \partial \omega$ ,  $Z_z = \partial Z / \partial z$ .

Ниже будет предложен метод вычисления величин  $Z_\omega(\omega_0, 0)$  и  $Z_z(\omega_0, 0)$  для концентраторов произвольной формы.