

ИССЛЕДОВАНИЕ СТЕКОЛ СИСТЕМЫ $\text{Na}_2\text{O}:\text{CaO}:\text{SiO}_2$ МЕТОДОМ МАНДЕЛЬШТАМ-БРИЛЛЮЭНОВСКОГО РАССЕЯНИЯ СВЕТА

В.И. Абрамова, В.Ф. Китаева, Т.А. Сидоров, Т.В. Титова, В.Ю. Федорович

Методом мандельштам-бриллюэновского рассеяния света определены зависимости упругих постоянных и оптического качества натрий-кальций-силикатных стекол от их состава для двух серий $(3-x)\text{Na}_2\text{O}:\text{xCaO}:\text{6SiO}_2$ и $(2-x)\text{Na}_2\text{O}:\text{CaO}:\text{6SiO}_2$.

Исследование методом мандельштам-бриллюэновского (МБ) рассеяния света свойств стекол ограничивалось до настоящего времени, в основном, стеклами сложного состава. Между тем, для выявления зависимостей свойств стекла от его состава целесообразно проводить исследования стекол простого состава. Наиболее простыми стеклообразными системами, состав которых можно изменять, являются двухкомпонентные. Однако такие стекла либо расслаиваются, либо имеют плохую химическую устойчивость, что делает их мало пригодными для проведения исследований. По этой причине приходится обращаться к исследованию более сложных, трехкомпонентных систем. Среди оксидных стекол наибольший практический интерес представляет система $\text{Na}_2\text{O}:\text{CaO}:\text{SiO}_2$, составляющая основу подавляющего большинства промышленных силикатных стекол. Эта система и была выбрана нами для исследования методом МБ рассеяния свойств стекол от их состава. Предварительные исследования ее [1], проведенные с ограниченным числом образцов, привели к ошибочным выводам о немонотонности зависимостей упругих свойств стекол от их состава. В настоящей работе представлены результаты более широких исследований указанной системы стекол (25 образцов стекол, 13 разных составов) методом МБ рассеяния света.

Исследования проводились с двумя сериями стекол. В одной из них $(3-x)\text{Na}_2\text{O}:\text{xCaO}:\text{6SiO}_2$ окись натрия постепенно заменялась на окись кальция, в другой $(2-x)\text{Na}_2\text{O}:\text{CaO}:\text{6SiO}_2$ отношение количества окиси кальция к количеству двуокиси кремния оставалось постоянным, а содержание окиси натрия постепенно изменялось. Ряд образцов стекол помимо Na_2O , CaO и SiO_2 содержал небольшую добавку окиси церия CeO_2 в количестве 1 вес. %. Однако наличие этой добавки не оказало никакого заметного влияния на исследуемые свойства стекол.

Варка стекол производилась в трехлитровых кварцевых тиглях в газовой печи при температуре 1400 — 1500 °С, а отжиг при 550 — 650 °С. Из стекол изготавливались образцы в виде прямоугольных параллелепипедов размером 40×20×2 мм³ с полированными гранями.

Схема экспериментальной установки, на которой проводились исследования, описана в [2]. Рассеяние возбуждалось излучением аргонового лазера непрерывного действия на длине волны 514,5 нм, рассеянный свет наблюдался под углом 90°.

Обработка спектров МБ рассеяния света заключалась в измерении смещений $\Delta\nu_{L,T}$ и относительных интенсивностей $J_{L,T}$ продольных (L) и поперечных (T) компонент МБ, а также относительной интенсивности релеевской компоненты J_R . Из смещений определялись скорости распространения гиперзвука в исследованных образцах и затем рассчитывались упругие постоянные c_{ij} стекол. Полученные значения упругих постоянных c_{11} и c_{44} приведены на рис. 1 в виде зависимостей от состава стекол. Упругие постоянные определяют многие механические свойства стекол. В данной работе с помощью c_{ij} рассчитаны модуль Юнга E и модуль всестороннего сжатия V. Их зависимости от состава стекол также представлены на рис. 1.

Из относительных интенсивностей релеевской компоненты и компонент МБ вычислялись [1] фотоупругие постоянные стекол p_{ij} , а также оценивалась их относительная оптическая чистота. Величины фотоупругих постоянных p_{11} и p_{44} в пределах ошибки измерений (~ 20%) не зависят от состава исследованных стекол и составляют 0,1 и — 0,055 соответственно. Зависимость величины параметра $\eta = J_R/2(J_T + J_L)$, характеризующего оптическую чистоту стекол [3], от состава стекол представлена на рис. 2.

Из рис. 1 видно, что в первой серии стекол, когда отношение $(\text{Na}_2\text{O} + \text{CaO}):\text{SiO}_2$ остается постоянным и равным 3:6, а количество Na_2O изменяется за счет изменения количества CaO , величины упругих

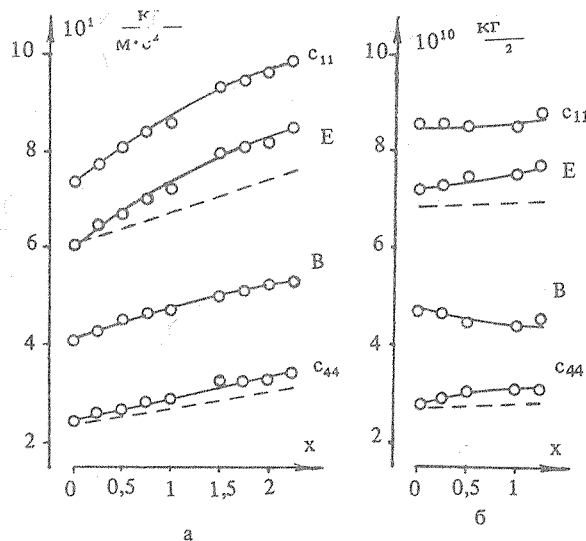


Рис. 1. Зависимость упругих постоянных c_{11} и c_{44} и упругих модулей E и B от состава стекол серий $(3-x)\text{Na}_2\text{O}:x\text{CaO}:6\text{SiO}_2$ (а) и $(2-x)\text{Na}_2\text{O}:\text{CaO}:6\text{SiO}_2$ (б). Сплошные кривые – эксперимент, штриховые – расчет согласно аддитивным соотношениям Ашпена.

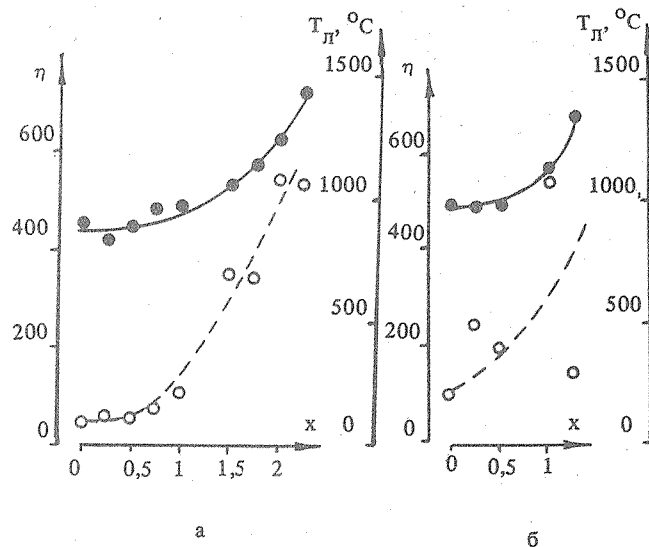


Рис. 2. Зависимость параметра η (светлые кружки) и температуры ликвидуса $T_{\text{л}}$ (темные кружки) от состава стекол серий $(3-x)\text{Na}_2\text{O}:x\text{CaO}:6\text{SiO}_2$ (а) и $(2-x)\text{Na}_2\text{O}:\text{CaO}:6\text{SiO}_2$ (б).

постоянных c_{11} и c_{44} и упругих модулей E и B монотонно растут с увеличением количества окиси кальция. Это возрастание можно объяснить тем, что двухвалентный ион кальция имеет более сильную связь с окружающими мостиковыми и немостиковыми атомами кислорода, чем одновалентный ион натрия. Во второй серии стекол, когда отношение $\text{CaO}:\text{SiO}_2$ сохраняется постоянным и равным 1:6, а количество Na_2O уменьшается, величины упругих постоянных и упругих модулей практически не изменяются. Штриховыми линиями на рис. 1 изображены зависимости c_{44} и E от состава стекол, вычисленные согласно аддитивным расчетным формулам Ашпена [4]. Как видно из рис. 1, в обеих сериях расчетные кривые удовлетворительно описывают экспериментальные зависимости c_{44} от состава стекол, но значительно расходятся с экспериментальными зависимостями величины E .

Величина параметра η определяется главным образом интенсивностью релеевского рассеяния света на оптических неоднородностях в стекле. Чем больше концентрация оптических неоднородностей в стекле и, следовательно, ниже его оптическое качество, тем больше величина η . Из рис. 2а видно, что в первой серии стекол η резко возрастает по мере замены окиси натрия на окись кальция. Во второй серии стекол (рис. 2б) разброс данных очень велик, и поэтому можно лишь предположительно говорить о росте η при уменьшении содержания окиси натрия. Как видно из рис. 2, увеличение η соответствует росту температуры ликвидуса $T_{\text{л}}$ (температуры плавления) исследуемых стекол [5]. Это указывает на то, что стекла с более высокими температурами ликвидуса не были достаточно хорошо проварены и имели более низкое оптическое качество.

ЛИТЕРАТУРА

- Китаева В. Ф. и др. Препринт ФИАН № 33, М., 1985.
- Китаева В. Ф. и др. ФТТ, 22, вып. 5, 1379 (1980).
- Данилейко Ю. К. и др. Квантовая электроника, 1, вып. 8, 1812 (1974).
- Аппен А. А. Расчет свойств силикатных стекол. Вильнюс, Центр. бюро техн. информации и пропаганды Гос. ком. Лит. ССР по делам строительства и архитектуры, 1963.
- Россон Г. Неорганические стеклообразные системы. М., Мир, 1970, с. 93.

Поступила в редакцию 16 июля 1987 г.