

ЭФФЕКТИВНЫЙ МОДУЛЬ УПРУГОСТИ ХАЛЬКОГЕНИДНЫХ СТЕКОЛ (Обзор)

© Сандитов Д. С.

доктор физико-математических наук, профессор,
Бурятский государственный университет имени Доржи Банзарова
Россия, 670000, г. Улан-Удэ, ул. Смолина, 24а
Институт физического материаловедения СО РАН
Россия, 670047, г. Улан-Удэ, ул. Сахьяновой, 6
E-mail: sanditov@bsu.ru

© Дармаев М. В.

кандидат технических наук, доцент,
Бурятский государственный университет имени Доржи Банзарова
Россия, 670000, г. Улан-Удэ, ул. Смолина, 24а
E-mail: darmaev@bsu.ru

© Машанов А. А.

кандидат технических наук, доцент,
Бурятский государственный университет имени Доржи Банзарова
Россия, 670000, г. Улан-Удэ, ул. Смолина, 24а
E-mail: mashanov@bsu.ru

Произведение плотности твердого тела на квадрат средней квадратичной скорости волн деформации, обладающее характерными для упругих модулей признаками, назван эффективным модулем упругости. Показано, что у бескислородных халькогенидных стекол отношение модуля объемного сжатия к эффективному модулю упругости является однозначной функцией коэффициента Пуассона, как и у оксидных стекол. Эффективный модуль упругости тесно связан с параметром Грюнайзена, служащим мерой ангармонизма. На основе однозначной связи коэффициента Пуассона с параметром Грюнайзена обсуждается природа взаимосвязи гармонических (линейных) и ангармонических (нелинейных) величин.

Ключевые слова: взаимосвязь линейных и нелинейных свойств; коэффициент Пуассона; ангармонизм; модуль упругости; модуль объемного сжатия; параметр Грюнайзена; бескислородные халькогенидные стекла.

Для цитирования: Сандитов Д. С., Дармаев М. В., Машанов А. А. Эффективный модуль упругости халькогенидных стекол // Вестник Бурятского государственного университета. Химия. Физика. 2020. Вып. 1. С. 29–39.

Для кубических кристаллов квадрат среднеквадратичной скорости волн деформации v_k^2 является инвариантом суммы квадратов скоростей распространения продольных (v_l) и поперечных (v_s) акустических волн [1, 2]

$$v_k^2 = \frac{v_l^2 + 2v_s^2}{3} \quad (1)$$

Это соотношение оказалось оправданным не только для кристаллов с другими решетками, но и для оксидных неорганических стекол [2, 3]. Произведение плотности ρ на квадрат среднеквадратичной скорости v_k^2 было названо усредненным модулем упругости [3]

$$K = \rho v_k^2 \quad (2)$$

Это название является не совсем удачным, поскольку известные упругие модули E , G и B также относятся к усредненным величинам. Поэтому предлагаем называть K эффективным (или характерным) модулем упругости.

Настоящая работа посвящена исследованию природы величины K и установлению ее связи с упругими модулями и коэффициентом Пуассона применительно к бескислородным халькогенидным стеклам на примере стекол системы As-Tl-S, для которых известны необходимые экспериментальные данные об акустических и упругих свойствах [4] (табл. 1). Представляет интерес проверка применимости полученных ранее разработок [3] к халькогенидным стеклообразным твердым телам.

Поскольку эффективный модуль упругости оказывается связанным с параметром Грюнайзена и в свою очередь параметр Грюнайзена является однозначной функцией коэффициента Пуассона (см. далее), нами обсуждается проблема взаимосвязи линейных (гармонических) и нелинейных (ангармонических) характеристик твердых тел.

Эффективный модуль упругости, модуль объемного сжатия и коэффициент Пуассона

Из формулы модуля объемного сжатия B кубических кристаллов

$$B = \frac{C_{11} + 2C_{12}}{3}, \quad (3)$$

а также из соотношения для произведения плотности и квадрата среднеквадратичной скорости звука v_k^2 [2]

Таблица 1

Плотность (ρ), скорости распространения продольных (v_l) и поперечных (v_s) акустических волн, упругие постоянные (μ , G , B) [4] и рассчитанные из них параметр Грюнайзена (γ_D) и эффективный модуль упругости (K) для стекол составов $x\text{As}_2\text{S}_3 \cdot (1-x)\text{Tl}_2\text{S}$

Состав стекла	Tl ₂ S, мол. %	$\rho \cdot 10^{-3}$, кг/м ³	v_l , м/с	v_s , м/с	μ	$G \cdot 10^{-8}$, Н/м ²	$B \cdot 10^{-8}$, Н/м ²	γ_D (12)	γ_D (13)	$K \cdot 10^{-8}$, Н/м ²
As ₂ S ₃	0	3,187	2650	1400	0,306	62	139	1,80	1,81	116
AsS _{1.57} Tl _{0.14}	12,3	3,765	2680	1420	0,309	76	174	1,85	1,83	141
AsS _{1.65} Tl _{0.3}	23,1	4,24	2580	1350	0,311	77	178	1,83	1,84	146
AsS _{1.7} Tl _{0.4}	28,6	4,474	2550	1320	0,317	78	187	1,88	1,88	149
AsS _{1.74} Tl _{0.48}	32,4	4,72	2510	1280	0,324	77	193	1,92	1,93	151
AsS _{1.85} Tl _{0.7}	41,2	5,04	2440	1210	0,337	74	202	2,03	2,03	149
AsS ₂ Tl	50	5,36	2320	1130	0,344	68	195	2,07	2,08	142

$$\rho v_k^2 = \frac{C_{11} + 2C_{44}}{3} \quad (4)$$

видно, что при выполнении условия Коши $C_{12} = C_{44}$, когда между однородно деформированными областями кубической решетки действуют центральные силы, величина $K = \rho v_k^2$ совпадает с модулем объемного сжатия $K = B$. Во всех других случаях произведение ρv_k^2 отлично от B . Здесь C_{11} , C_{12} и C_{44} — упругие постоянные 2-го порядка.

Убедимся, что так же, как и отношение модуля сдвига G к модулю объемного сжатия B [5],

$$\frac{G}{B} = \frac{3}{2} \left(\frac{1 - 2\mu}{1 + \mu} \right), \quad (5)$$

величины G/K и B/K являются однозначными функциями коэффициента Пуассона μ .

Разделив $G = \rho v_s^2$ на $K = \rho v_k^2$, получаем соотношение

$$\frac{G}{K} = \frac{v_s^2}{v_k^2}. \quad (6)$$

С помощью формулы (1) правую часть этого равенства выразим через квадраты продольной и поперечной скоростей звука

$$\frac{v_s^2}{v_k^2} = 3 \left(\frac{v_l^2}{v_s^2} + 2 \right)^{-1} \quad (7)$$

В теории упругости отношение (v_l^2 / v_s^2) у изотропных тел является функцией коэффициента Пуассона [5]

$$\frac{v_l^2}{v_s^2} = 2 \left(\frac{1 - \mu}{1 - 2\mu} \right) \quad (8)$$

Подставив (8) в выражение (7), а затем (7) в соотношение (6), приходим к заключению, что отношение G/K является функцией только коэффициента Пуассона

$$\frac{G}{K} = \frac{3}{2} \left(\frac{1 - 2\mu}{2 - 3\mu} \right) \quad (9)$$

Из комбинации данной формулы с равенством (5) следует, что отношение B/K также есть однозначная функция μ

$$\frac{B}{K} = \frac{1 + \mu}{2 - 3\mu} \quad (10)$$

Этот результат был получен ранее иным способом [3] (с помощью более сложных выкладок с привлечением уравнений Леонтьева [2] и Беломестных–Теслевой [6], а также с использованием искусственного приема и некоторого ограничения).

Таким образом, во-первых, как и модуль сдвига, величина $K = \rho v_k^2$ выражается через произведение плотности на квадрат скорости звука и, во-вторых, при вы-

полнении условия Коши она совпадает с модулем объемного сжатия. В-третьих, так же, как и отношения упругих модулей, величины G/K и B/K являются однозначными функциями коэффициента Пуассона. Поэтому произведение ρv_k^2 названо эффективным модулем упругости.

При установлении зависимости B/K от коэффициента Пуассона в виде (10) были использованы соотношения для изотропных кристаллов с кубическими решетками. Тем не менее, ранее было показано, что эта зависимость (10) применима к оксидным стеклам [3]. Рассмотрим применение выражения (10) к бескислородным халькогенидным стеклам мышьяк-сера-таллий.

Как видно из рис. 1, зависимость отношения B/K от функции коэффициента Пуассона $(1+\mu)/(2-3\mu)$ является линейной, причем в соответствии с равенством (10) прямая проходит через начало координат с наклоном, равным единице, что подтверждает справедливость формулы (10) для рассматриваемых халькогенидных стекол. Необходимые экспериментальные данные взяты из работы [4] (табл. 1). Справедливость равенства (10) была установлена для силикатных стекол [3, 7]. Представляет интерес применимость зависимости (10) к другим оксидным неорганическим стеклам. Как видно из рис. 2, эта зависимость хорошо выполняется для метафосфатов щелочноземельных металлов (по данным [8], табл. 2).

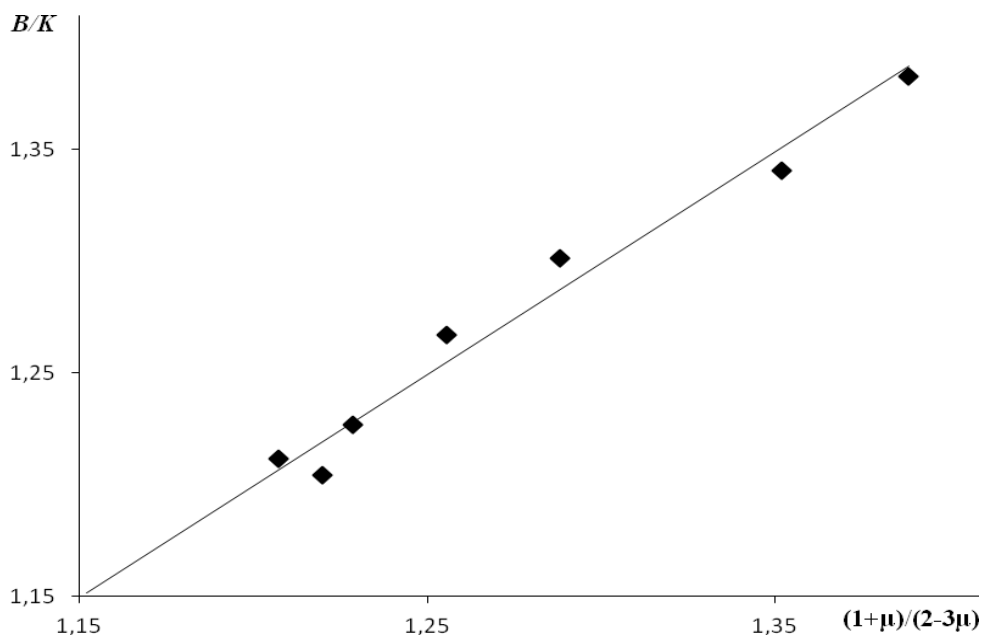


Рис. 1. Зависимость отношения модуля объемного сжатия к эффективному модулю упругости (B/K) от функции коэффициента Пуассона $(1+\mu)/(2-3\mu)$ для халькогенидных стекол мышьяк-сера-таллий при различных содержаниях компонентов.

Использованы данные работы [4]

Таблица 2

Физико-механические характеристики [8] и рассчитанные из них параметр Грюнайзена γ_D и эффективный модуль упругости K для стеклообразных метафосфатов щелочноземельных металлов $\text{MeO} - \text{P}_2\text{O}_5$, где $\text{Me} = \text{Mg}, \text{Ca}, \text{Sr}, \text{Ba}$

Состав стекла по синтезу	$\rho \cdot 10^{-3}$, кг/м ³	v_l , м/с	v_s , м/с	$G \cdot 10^{-8}$, Н/м ²	$B \cdot 10^{-8}$, Н/м ²	μ	γ_D		$K \cdot 10^{-8}$, Н/м ²
							Фор- ла (12)	Фор- ла (13)	
0.51MgO·0.49P ₂ O ₅	2.475	5267	3110	239	367	0.233	1.42	1.42	388
0.50MgO·0.50P ₂ O ₅	2.474	5264	3108	239	367	0.233	1.42	1.42	388
0.49MgO·0.51P ₂ O ₅	2.477	5289	3121	241	371	0.233	1.42	1.42	392
0.51CaO·0.49 P ₂ O ₅	2.604	5051	2858	213	381	0.264	1.57	1.57	363
0.50CaO·0.50 P ₂ O ₅	2.618	5086	2869	216	390	0.267	1.58	1.59	369
0.49CaO·0.51 P ₂ O ₅	2.604	5051	2857	213	381	0.265	1.57	1.57	363
0.51 SrO·0.49 P ₂ O ₅	3.048	4603	2568	201	378	0.274	1.62	1.62	349
0.50 SrO·0.50 P ₂ O ₅	3.030	4610	2577	201	376	0.273	1.62	1.62	349
0.49 SrO·0.51 P ₂ O ₅	3.020	4612	2584	202	373	0.271	1.61	1.61	349
0.51BaO·0.49P ₂ O ₅	3.411	4160	2269	176	356	0.288	1.70	1.70	314
0.50BaO·0.50P ₂ O ₅	3.413	4178	2278	177	360	0.288	1.71	1.70	317
0.49BaO·0.51P ₂ O ₅	3.385	4186	2291	177	356	0.286	1.69	1.69	316

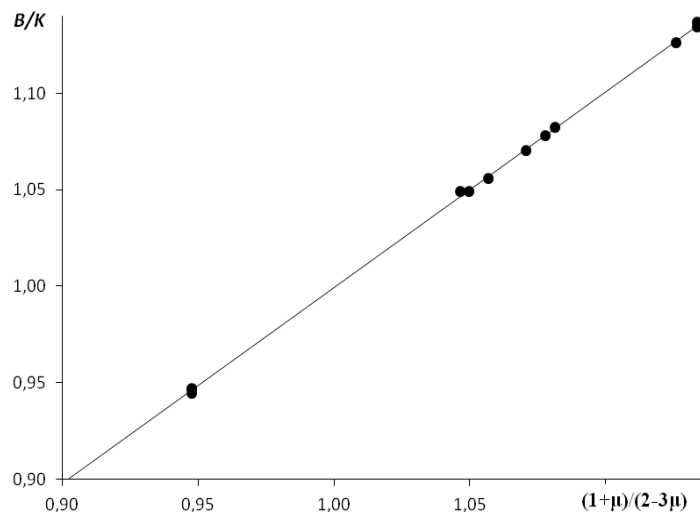


Рис. 2. Линейная корреляция между V/K и $(1+\mu)/(2-3\mu)$ для стеклообразных метафосфатов щелочноземельных металлов $\text{MeO}-\text{P}_2\text{O}_5$ при различных содержаниях MeO ($\text{Me} = \text{Mg}, \text{Ca}, \text{Sr}, \text{Ba}$). Используются данные [8]

Эффективный модуль упругости и ангармонизм колебаний решетки

Одной из особенностей величины $K = \rho v_k^2$ является ее связь с параметром Грюнайзена γ_D , который служит характеристикой нелинейности силы межатомного взаимодействия и ангармонизма колебаний решетки. Параметр Грюнайзена выражает изменение частоты нормальных колебаний решетки в зависимости от изменения объема системы и вычисляется по уравнению

$$\gamma_D = \frac{\beta V B}{C_V} \quad (11)$$

где β — коэффициент объемного теплового расширения, C_V и V — молярные теплоемкость и объем, B — изотермический модуль объемного сжатия. Наряду с уравнением Грюнайзена (11) для расчета γ_D используются другие соотношения. Заслуживают внимания, например, формулы Леонтьева [2]

$$\gamma_D = \frac{3}{2} \left(\frac{B}{\rho v_k^2} \right) \quad (12)$$

и Беломестных-Теслевой [6]

$$\gamma_D = \frac{3}{2} \left(\frac{1 + \mu}{2 - 3\mu} \right) \quad (13)$$

Примечательно то обстоятельство, что эти соотношения (12) и (13) находятся в согласии с уравнением Грюнайзена (11) для металлов, ионных и молекулярных кристаллов [3, 6]. Рис. 3 подтверждает согласие между уравнениями (12) и (13) применительно к рассматриваемым халькогенидным стеклам (табл. 1).

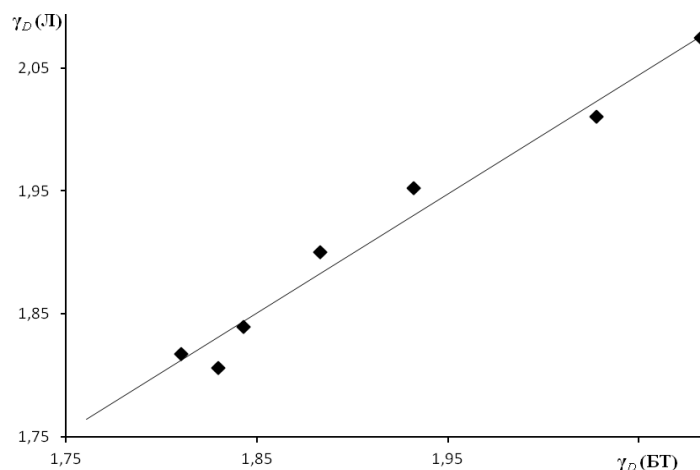


Рис. 3. Корреляция между значениями параметра Грюнайзена, рассчитанными по формулам Леонтьева γ_D (Л) и Беломестных-Теслевой γ_D (БТ), для халькогенидных стекол мышьяк-сера-галлий при различных содержаниях компонентов. Использованы данные [4]

Из сравнения соотношения (10) с формулой Беломестных-Теслевой (13) следует взаимосвязь эффективного модуля упругости K и параметра Грюнайзена γ_D

$$K = \frac{3}{2} \left(\frac{B}{\gamma_D} \right) \quad (14)$$

Обсуждение результатов

В работе [4] показано (табл. 1), что при увеличении содержания сульфида таллия Tl_2S у стекол в системе $As-S-Tl$ по сечению As_2S-Tl_2S наблюдается непрерывное возрастание коэффициента Пуассона от $\mu = 0.306$ до $\mu = 0.344$; соответственно, согласно формуле (13), так же непрерывно и монотонно возрастает и параметр Грюнайзена, от $\gamma_D = 1.8$ до $\gamma_D = 2.1$. Это указывает на ослабление каркаса стекол и разрыхление их структуры, что согласуется со снижением энергии активации вязкого течения [4]. Здесь наблюдается некоторая аналогия с щелочно-силикатными стеклами. Известно, что при росте содержания ионов щелочных металлов R^+ (содержания R_2O , $R = Li, Na, K$) в щелочно-силикатных стеклах R_2O-SiO_2 возрастает степень ионности межатомных связей и происходит переход от сетчатой структуры (у кварцевого стекла SiO_2) с направленными силами межатомного взаимодействия к преимущественно ионной разветвленной цепочечной структуре (у стекол R_2O-SiO_2). Например, у натриево-силикатных стекол Na_2O-SiO_2 при увеличении содержания окиси натрия Na_2O (ионов Na^+) от 0 до 35 мол.% μ и γ_D возрастают от $\mu = 0.17$ и $\gamma_D = 1.2$ до значений $\mu = 0.25$ и $\gamma_D = 1.5$ (табл. 3) [9], характерных для центральных сил взаимодействия ансамбля частиц. При этом у них убывает энергия активации вязкого течения.

Таблица 3

Параметр Грюнайзена и коэффициент Пуассона натриево-силикатных стекол Na_2O-SiO_2 [9]

Состав стекол, мол.%		μ	γ_D
SiO_2	Na_2O		
100	-	0.17	1.2
85	15	0.20	1.3
75	25	0.23	1.4
65	35	0.25	1.5

Формула Беломестных-Теслевой (13) однозначно связывает гармоническую (линейную) μ и ангармоническую (нелинейную) γ_D характеристики. Встречаются другие подобные корреляции [10-12], например, известное эмпирическое правило Баркера [9], выражающее связь модуля упругости E с коэффициентом теплового расширения β : $\beta^2 E \equiv \text{const}$. Вместе с тем в настоящее время природа этого явления остается во многом неясной. Известны лишь попытки качественного приближенного объяснения данного факта [11-13].

В рамках одномерной модели твердого тела потенциальная энергия межатомного взаимодействия двух смежных атомов записывается в виде

$$U = \frac{ax^2}{2} - \frac{bx^3}{6},$$

где $\alpha = (d^2U/dx^2)_{r=r_0}$ — гармонический, $b = -(1/2)(d^3U/dx^3)_{r=r_0}$ — ангармонический коэффициенты в разложении функции $U(x)$ в ряд по смещениям атомов из равновесного положения $x = (r - r_0)$. Используя в приведенных производных уравнение Ми: $U = -Ar^{-m} + Br^{-n}$, Конторова [11] получает следующую взаимосвязь гармонического и ангармонического коэффициентов

$$b = \left(\frac{m + n + 3}{2r_0} \right) a \quad (15)$$

и устанавливает функциональную зависимость β , E и подобных свойств от коэффициентов a и b . Отсюда объясняет обсуждаемое явление наличием связи между a и b типа (15) и зависимостью от них линейных и нелинейных величин.

Таким образом, подход Т.А. Конторовой указывает на принципиальную возможность реализации корреляции между, казалось бы, совершенно различными по своей природе физическими свойствами, в том числе между гармоническими и ангармоническими характеристиками твердых тел. Представляет интерес теория Пинеда [12], в рамках которой интерпретируются согласованные изменения коэффициента Пуассона μ и параметра Грюнайзена γ_D в опытах по структурной релаксации и всестороннему сжатию металлических стекол.

Тем не менее продолжает оставаться не совсем ясным существо природы однозначной связи параметра линейной теории упругости μ с мерой нелинейности силы межатомного взаимодействия γ_D .

Среди работ, посвященных природе коэффициента Пуассона (коэффициента поперечной деформации, как иногда называют), заслуживает внимания подход Берлина, Ротенбурга и Басерста [14], где предложена модель случайно упакованных сфер, взаимодействующих друг с другом в месте контакта двумя видами сил: перпендикулярных к плоскости контакта (центральных сил) и тангенциальных (сил трения), действующих по касательной к данной плоскости. Предполагается, что нормальные f_n и тангенциальные f_t силы пропорциональны соответствующим смещениям x_n и x_t

$$f_n = a_n x_n, f_t = a_t x_t,$$

где a_n и a_t — нормальная и тангенциальная жесткости. Из модели следует, что коэффициент Пуассона определяется отношением этих (сдвиговых и изгибных) жесткостей $\lambda = a_t/a_n$ [14]

$$\mu = \frac{1 - \lambda}{4 + \lambda}. \quad (16)$$

При $\lambda = 0$ ($a_n \gg a_t$) имеем $\mu = 0.25$, что соответствует ансамблю частиц с центральными силами. С ростом λ величина μ уменьшается и при $\lambda = 1$ $\mu = 0$. Интересно отметить, что формула (16) предсказывает нижний предел коэффициента Пуассона $\mu = -1$ при $\lambda \rightarrow \infty$ ($a_t \gg a_n$). В самом деле, по теории упругости, как показали Ландау и Лифшиц [5], величина μ может меняться в пределах: $-1 \leq \mu \leq 0.5$.

Поскольку тангенциальная жесткость a_t связана с силой трения (с диссипацией энергии деформирования), можно ожидать зависимость параметра $\lambda = a_t/a_n$ от

нелинейных эффектов, в частности, от ангармонизма. В самом деле, такая зависимость $\lambda(\gamma_D)$ следует из соотношений (13) и (16)

$$\lambda = \frac{(1.5 - \gamma_D)}{\gamma_D} \quad (17)$$

Это означает, что в формуле (16) в неявном виде заложена зависимость коэффициента Пуассона μ от ангармонизма, мерой которого служит параметр Грюнайзена γ_D .

Ангармонизм колебаний решетки и нелинейность силы межатомного взаимодействия проявляются в пластической деформации стеклообразных твердых тел [15, 16]), что вполне естественно. Предел текучести σ_y — напряжение, выше которого наблюдается пластичность стекла, — определяется отношением модуля упругости E к параметру Грюнайзена [16]

$$\sigma_y = \frac{1}{6} \left(\frac{E}{\gamma_D} \right) \quad (18)$$

Обращает внимание аналогичное отношение (B/γ_D) в формуле для величины K (14). В процессе пластической деформации, например, стеклообразных полимеров, усиливается ангармонизм (растет γ_D) и снижаются потенциальные барьеры межмолекулярного происхождения в сравнении с недеформированным состоянием, которое характеризуется межмолекулярным взаимодействием, определяемым модулем упругости E [15, 16].

Из соотношений (14) и (18) с привлечением известной формулы для B следует, что у стеклообразных материалов одного типа, у которых $\mu \approx \text{const}$, предел текучести пропорционален эффективному модулю упругости K

$$\sigma_y = \left(\frac{1 - 2\mu}{3} \right) K \quad (19)$$

По формулам (12)–(14) и (18) можно вычислять параметр Грюнайзена на основе данных только механических испытаний, тогда как по известному уравнению Грюнайзена (11) величина γ_D рассчитывается главным образом по данным о теплофизических характеристиках. Приведенные выше примеры могут оказаться полезными при анализе механических свойств стекол с учетом ангармонизма [15, 16].

Заключение

Рассмотрен эффективный модуль упругости K халькогенидных стекол системы мышьяк-сера-таллий. Установлено, что у исследованных стекол отношение модуля объемного сжатия к эффективному модулю упругости K является однозначной функцией коэффициента Пуассона. У стеклообразных твердых тел одного класса с одинаковыми (близкими) коэффициентами Пуассона предел текучести пропорционален эффективному модулю упругости. Особенностью величины K является его тесная связь с параметром Грюнайзена. В связи с однозначной зависимостью коэффициента Пуассона от параметра Грюнайзена поднимается вопрос о природе корреляции между гармоническими и ангармоническими величинами. На данном этапе приходится допускать зависимость коэффициента Пуассона от ангармонизма, что требует в дальнейшем детального обоснования.

Литература

1. Киттель Ч. Введение в физику твердого тела. М.: Физматгиз, 1962. 270 с.
2. Леонтьев К. Л. О связи упругих и тепловых свойств веществ // Акустический журнал. 1981. Т. 27, Вып. 4. С. 554–561.
3. Сандитов Д. С., Беломестных В. Н. Взаимосвязь параметров теории упругости и усредненный модуль объемного сжатия твердых тел // ЖТФ. 2011. Т. 81, Вып. 11. С. 77–81.
4. Щукина Н. Е., Орлова Г. М., Чалабян Г. А. Вязкость и упругие свойства стекол системы мышьяк-сера-галлий // Физика и химия стекла. 1979. Т. 5, № 2. С. 223–228.
5. Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М. Теория упругости. М.: Наука, 1987. 248 с.
6. Беломестных В. Н., Теслева Е. П. Взаимосвязь ангармонизма и поперечной деформации квазиизотропных поликристаллических тел // ЖТФ. 2004. Т. 74, Вып. 8. С. 140–142.
7. Сандитов Д. С., Дармаев М. В. Коэффициент Пуассона и упругие модули многокомпонентных оптических стекол // Вестник Бурятского госуниверситета. Химия. Физика. 2014. Вып. 3. С. 136–139.
8. Гурович Е. А., Ильин А. А., Пронкин А. А., Стржалковский М. Е. Скорость звука в стеклообразных метафосфатных щелочноземельных металлов // Физика и химия стекла. 1979. Т. 5, № 3. С. 383–384.
9. Сандитов Д. С. О природе коэффициента Пуассона органических аморфных полимеров и неорганических стекол // Высокомолекулярные соединения. Сер. А. 2016. Т. 58, № 5. С. 112–128.
10. Barker R. An Approximate Relation between Elastic Module and Thermal Expansivities // J. Appl. Phys. 1963. V. 34, № 1. P. 107–116.
11. Конторова Т. А. О связи между механическими и тепловыми характеристиками кристаллов // Некоторые проблемы прочности твердых тел. М.: Изд-во АН СССР, 1959. С. 99–107.
12. Pineda E. Theoretical Approach to Poisson Ratio Behavior during Structural Changes in Metallic Glasses // Phys. Rev. 2006. V. B73. P. 104109-1-104109-6.
13. Кузьменко В. А. Новые схемы деформирования твердых тел. Киев: Наукова думка, 1973. 200 с.
14. Берлин А. А., Ротенбург Л., Басэрст Р. Структура изотропных материалов с отрицательным коэффициентом Пуассона // Высокомолекулярные соединения. Сер. Б. 1991. Т. 33, № 8. С. 619–621.
15. Сандитов Д. С., Козлов Г. В. Ангармонизм межатомных и межмолекулярных связей и физико-механические свойства стеклообразных систем // Физика и химия стекла. 1995. Т. 21, № 6. С. 549–578.
16. Козлов Г. В., Сандитов Д. С. Ангармонические эффекты и физико-механические свойства полимеров. Новосибирск: Наука, 1994. 261 с.

EFFECTIVE ELASTIC MODULE OF CHALCOGENIDE GLASSES

Sanditov D. S.

Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor
Buryat State University
670000, Ulan-Ude, Smolina Str., 24a
Institute of Physical Materials Science SB RAS
670047, Ulan-Ude, Sakhyanova Str., 6
E-mail: sanditov@bsu.ru

Darmaev M. V.

Candidate of Technical Sciences

Buryat State University

670000, Ulan-Ude, Smolina Str., 24a

E-mail: darmaev@bsu.ru.

Mashanov A. A.

Candidate of Technical Sciences

Buryat State University

670000, Ulan-Ude, Smolina Str., 24a

E-mail: Mashanov@bsu.ru.

The product of the density of a solid body per the square of the average quadratic speed of deformation waves, which has characteristic specific for elastic modules, is called the effective modulus of elasticity. It is shown that for oxygen-free chalcogenide glasses, the ratio of the volume compression modulus to the effective elastic modulus is an unambiguous function of the Poisson's ratio, as for oxide glasses. The effective modulus of elasticity is closely related to the Grueneisen parameter, which serves as a measure of anharmonism. The nature of the relationship between harmonic (linear) and anharmonic (nonlinear) values is discussed on the basis of a unique relationship between the Poisson coefficient and the Grueneisen parameter.

Keywords: relationship of linear and nonlinear properties; Poisson ratio; anharmonism; elastic modulus; volume compression modulus; Grueneisen parameter; oxygen-free chalcogenide glasses.