

05.4;12

©1994

МАГНИТОАКУСТИЧЕСКИЕ ЭФФЕКТЫ СТИМУЛИРОВАНИЯ СТРУКТУРНЫХ ИЗМЕНЕНИЙ В ВИСМУТСОДЕРЖАЩЕЙ СТЕКЛОКЕРАМИКЕ

*В.И.Алексеевко, И.К.Носолев,
Т.Е.Константинова, С.И.Харцев*

Вопрос о механизмах необратимых изменений в структуре аморфных материалов для ВТСП систем в условиях внешних воздействий (термообработка, обработка магнитным полем, обработка мощным ультразвуком и высоким гидростатическим давлением и т.д.) на сегодняшний день является актуальным как с точки зрения его фундаментальности, так и применимости в современных технологиях получения высококачественных ВТСП материалов. В работах [1-4] было обнаружено влияние термообработки в области стеклования и обработки слабым импульсным магнитным полем (ОИМП) [4] на структуру аморфных систем и на ход их дальнейшей кристаллизации.

В настоящей работе представлена попытка изучить возможные механизмы структурных изменений в стеклокерамике $\text{Bi}_{1.8}\text{Pb}_{0.2}\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_x$ (95% аморфная фаза) после ее ОИМП.

Методом двойного составного вибратора на частоте продольных колебаний 91 КГц при постоянной амплитуде относительной циклической деформации $\varepsilon - 0 = 6 \cdot 10^{-8}$ измерялись температурные зависимости внутреннего трения δ и резонансной частоты составного вибратора $f_p^c (f_p^{cb})^2 \sim M$, где M — модуль упругости в исследуемом материале после ОИМП. Измерения проводились в интервале температур 293–490 К. Точность измерения δ составляла 6%, а точность измерения $f_p^{cb} \sim 2 \cdot 10^{-3}\%$.

Обнаружено, что ОИМП приводит к существенному снижению фона внутреннего трения по сравнению с необработанным образцом (рис. 1, а, кривая 1). Кроме того, как видно из рис. 1, в ОИМП образце появляется дополнительный (в необработанном образце наблюдается релаксационный пик с $T_m = 459$ К. Оценка величины частотного фактора двух пиков дала значение 10^{-13}с^{-1} , что свидетельствует о том, что за возникновение указанных релаксационных пиков внутреннего трения ответственны атомные конфигурации из не-

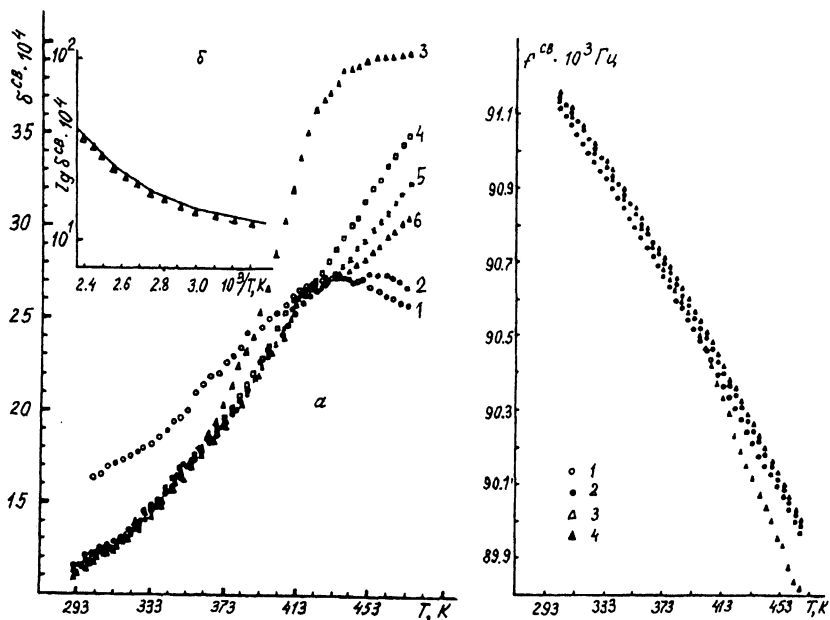


Рис. 1. Температурная зависимость δ в $\text{Bi}_{1.8}\text{Pb}_{0.2}\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_x$ стеклокерамике.

1 — до ОИМП; 2 — 1-я, 3 — 2-я, 4 — 3-я, 5 — 4-я, 6 — 7-я протяжки после ОИМП. б — зависимость δ в логарифмических координатах.

Рис. 2. Зависимость резонансной частоты составного вибратора f_p^{cv} от температуры.

1 — до ОИМП; 2 — 1-я, 3 — 2-я, 4 — 5-я протяжка после ОИМП.

большого числа атомов, которые под действием внешних напряжений перестраиваются [5]. Отметим также возрастание M исследуемого материала после ОИМП (рис. 2, кривая 2) в рассматриваемом температурном диапазоне.

Дальнейшие повторные измерения внутреннего трения в том же интервале температур на ОИМП материале, как видно из рис. 1, приводят к возникновению высокотемпературного фона внутреннего трения, а затем к его релаксации (рис. 1, а, кривые 4-6). На рис. 1, б нами показано, что высокотемпературный фон внутреннего трения состоит из четырех компонент, с достаточной степенью точности описываемых известным выражением Шноэка [6]:

$$\delta = \text{const} [f \exp(U/kT)]^{-n}, \quad (1)$$

где U — энергия активации процесса, обеспечивающего высокотемпературный фон внутреннего трения; n — структурная постоянная. Значения энергии активации этих процессов, найденные из экспериментальной зависимости (рис. 1, а, кривая 3) на основании выражения (1), в направлении роста температур соответственно равны: $nU_1 = 0.053 \pm 0.015$, $nU_2 = 0.082 \pm 0.015$, $nU_3 = 0.14 \pm 0.02$, $nU_4 = 0.18 \pm 0.02$ эВ. В области температур, где превалирующую роль играют механизмы, обеспечивающие высокотемпературный фон внутреннего трения с энергиями активации nU_3 и nU_4 , наблюдается аномалия в поведении M . В частности, его существенное уменьшение с ростом температур. При снижении высокотемпературного фона внутреннего трения наблюдается стабильность первых двух механизмов с nU_1 и nU_2 фонового обеспечения, в то же время вклад последних с nU_3 и nU_4 уменьшается. Модуль упругости при этом растет и достигает максимального его значения (рис. 2, кривая 4).

Таким образом, на основании представленных данных, а именно: снижение фона внутреннего трения, изменение картины релаксационных пиков, а также рост модуля упругости¹, можно утверждать основной результат работы. В $\text{Bi}_{1.8}\text{Pb}_{0.2}\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_x$ стеклокерамике после ее ОИМ протекают при комнатной температуре процессы структурной релаксации (СР), приводящие к наблюдаемым изменениям приведенных параметров. В этом, на наш взгляд, и проявляется эффект магнитного стимулирования СР. В то же время, как показано рядом авторов [7,8], СР в рассматриваемых ими аморфных системах протекает в области предкристаллизационных температур (для $\text{Bi}_{1.8}\text{Pb}_{0.2}\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_x$ температура кристаллизации 725 К). Появление высокотемпературного фона внутреннего трения при температурах существенно более низких, чем температуры кристаллизации, свидетельствуют о наличии акустического стимулирования СР, т.е. протекания процессов СР в поле внешних напряжений при невысоких температурах.

Дальнейшие исследования в этой области, как нам представляется, должны быть направлены на изучение возможной связи между процессами релаксации структуры, обусловленными как ультразвуком, так и импульсным магнитным полем.

¹ В исследуемых образцах методом микроиндентирования измерялась микротвердость. Обнаружена кинетика ее роста после ОИМП.

Список литературы

- [1] *Алексеевко В.И., Волкова Г.К., Попова И.В., Константинова Т.Е.* // УФЖ. 1993. Т. 38. В. 3. С. 4-7.
- [2] *Китайгородский И.И., Ходаковская Р.Я.* // Изв. АН СССР. Неорганич. матер. 1965. Т. 71. В. 5. С. 796-803.
- [3] *Филипович В.Н., Калинина А.М.* // Изв. АН СССР. Неорганич. матер. 1968. Т. 8. В. 9. С. 1532-1538.
- [4] *Алексеевко В.И., Волкова Г.К., Попова И.П. и др.* // Письма в ЖТФ. 1992. Т. 18. В. 21. С. 37-39.
- [5] *Даринский В.М., Калинин Ю.Н., Сайко Д.С.* Внутреннее трение в исследовании металлов, сплавов и неметаллических материалов. М.: Наука, 1989. 282 с.
- [6] *Шаповал Б.И., Аржавитин В.М.* Механизмы высокотемпературного фона внутреннего трения металлов. Харьков: ХГУ, 1988. 50 с.
- [7] *Золотухин И.В.* Физические свойства аморфных металлических материалов. М.: Металлургия, 1986. 176 с.
- [8] *J.Perez, P.L.Cobin* // Rev.Phys. Appl. 1977. V. 12. P. 819.

Донецкий физико-технический институт

Поступило в Редакцию
30 ноября 1993 г.