

ИССЛЕДОВАНИЯ СПЕКТРАЛЬНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ КОЛЕБАТЕЛЬНЫХ СОСТОЯНИЙ В МЕТАЛЛИЧЕСКИХ СТЕКЛАХ $Mg_{70}Zn_{30}$ И $Cu_{33}Zr_{67}$

М.Г. Землянов, Г.Ф. Сырых, Н.А. Черноплеков

Методом неупругого рассеяния холодных нейтронов на образцах металлических стекол $Mg_{70}Zn_{30}$ и $Cu_{33}Zr_{67}$ и их кристаллических однофазных аналогов измерены обобщенные функции распределения частот колебаний $\Theta(\epsilon)$. В противоположность результатам, полученным в ^{1, 2}, в спектре колебаний аморфного состояния установлен протяженный участок, где $\Theta(\epsilon) \sim \epsilon^2$.

В работах ^{1, 2} с помощью неупругого рассеяния тепловых нейтронов была исследована деформация спектров колебаний сплавов $Mg_{70}Zn_{30}$ и $Cu_{46}Zr_{54}$ при переходе их в состояние металлического стекла. Наряду с обнаружением общего размытия особенностей спектров колебаний кристаллов и роста плотности состояний в их низкоэнергетической части, было отмечено также отсутствие в интервале энергий $4 \leq \epsilon \leq 7$ мэВ дебаевского ($\sim \epsilon^2$) участка. Для металлического стекла $Mg_{70}Zn_{30}$ показатель степени оказался равным 1,75, а для $Cu_{46}Zr_{54}$ равным 1,33. В то же время в поликристаллах в указанной области энергий плотность колебательных состояний следовала дебаевскому ϵ^2 -закону.

С целью уточнения характера изменений плотности колебательных состояний в области малых энергий при переходе из кристаллического состояния в состояние металлического стекла нами проведено новое измерение неупругого рассеяния нейтронов на образцах сплавов $Mg_{70}Zn_{30}$ и $Cu_{33}Zr_{67}$ в стеклообразном и однофазном кристаллическом состояниях (для $Mg_{70}Zn_{30}$ однофазное кристаллическое состояние метастабильно).

Измерения выполнены при комнатной температуре на времяпролетном спектрометре с источником холодных нейтронов ³. Обработка результатов осуществлена по обычной про-

педуре с учетом всех необходимых поправок. Использование в спектрометре ³ первичной линии нейтронов с энергией в 15 раз меньше, чем в ^{1, 2} позволило не только понизить нижнюю границу исследованного спектра, но и исключить влияние эффектов когерентного рассеяния нейтронов при изучении низкоэнергетической части спектра, представляющей наибольший интерес. Таким образом, как за счет использования однофазных кристаллических аналогов исследованных стекол, так и за счет исключения когерентных эффектов сравнение колебательных спектров металлических стекол и кристаллов может быть осуществлено корректно. При этом следует иметь в виду, что непосредственно из нейтронного эксперимента для двухатомных систем может быть восстановлен так называемый обобщенный спектр колебаний $\Theta(\epsilon)$, который связан с обычной плотностью колебательных состояний $g(\epsilon)$ ⁴

$$\Theta(\epsilon) = \sum_i^2 \sigma_i c_i M_i^{-1} |e_i(\epsilon)|^2 g(\epsilon).$$

Здесь σ_i , M_i , c_i и $e_i(\epsilon)$ соответственно сечение рассеяния, масса, концентрация и вектор колебаний i -того компонента.

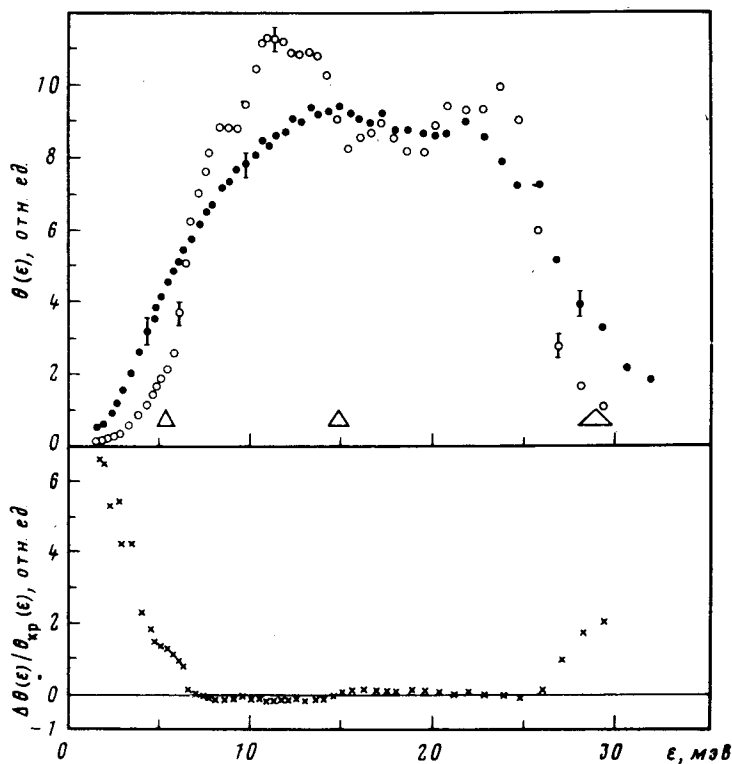


Рис. 1. Обобщенные функции частотных распределений $\Theta(\epsilon)$ для $Cu_{33}Zr_{67}$ в кристаллическом и аморфном состояниях: $\circ - \Theta_{кр}(\epsilon)$; $\bullet - \Theta_{ам}(\epsilon)$; $+ - \Delta\Theta(\epsilon)/\Theta_{кр}(\epsilon)$. Треугольником указано разрешение спектрометра

Результаты восстановления обобщенных спектров колебаний $\Theta(\epsilon)$ из данных по неупругому рассеянию холодных нейтронов и их относительная деформация при переходе сплавов из кристаллического в аморфное состояние $\Delta\Theta(\epsilon)/\Theta_{кр}(\epsilon) = (\Theta_{ам}(\epsilon) - \Theta_{кр}(\epsilon))\Theta_{кр}^{-1}(\epsilon)$ представлены на рис. 1 и рис. 2. Как следовало из ^{1, 2}, при аморфизации размываются особенности спектров кристаллов и растет плотность состояний в области низких энергий. Граница спектра в $Cu_{33}Zr_{67}$ сдвигается в область больших энергий, в $Mg_{70}Zn_{30}$ она остается практически неизменной. Обращает на себя внимание энергетическая зависимость относительной деформации спектров $\Delta\Theta(\epsilon)/\Theta_{кр}(\epsilon)$. Низкоэнергетическая ее часть, как уже отмечалось в ⁵, напоминает деформацию колебательного спектра кристалла из легких ато-

мов при введении в него тяжелых примесей. В какой степени эта низкоэнергетическая особенность соответствует предсказанной в ⁶ для аморфных систем на основании модели, учитывающей особую роль ангармонизма локальных атомных потенциалов в условиях флуктуации структурных параметров, на данном этапе ответить трудно. По-видимому использованная в ⁶ модель недостаточно адекватна реальной ситуации для описания всей совокупности низкочастотных колебаний в аморфной системе.

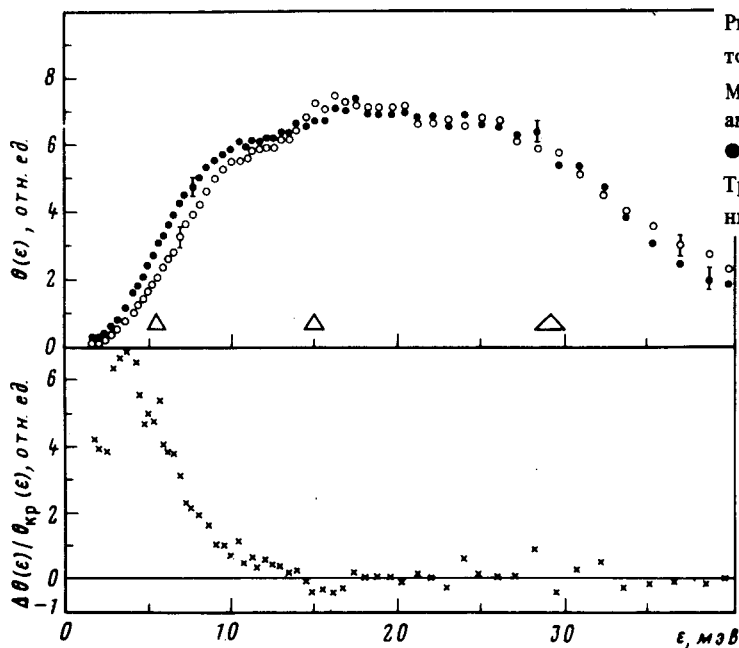


Рис. 2. Обобщенные функции частотных распределений $\Theta(\epsilon)$ для Mg_7, Zn_3 в кристаллическом и аморфном состояниях: $\circ - \Theta_{кр}(\epsilon)$; $\bullet - \Theta_{ам}(\epsilon)$; $+ - \Delta\Theta(\epsilon)/\Theta_{кр}(\epsilon)$. Треугольником указано разрешение спектрометра

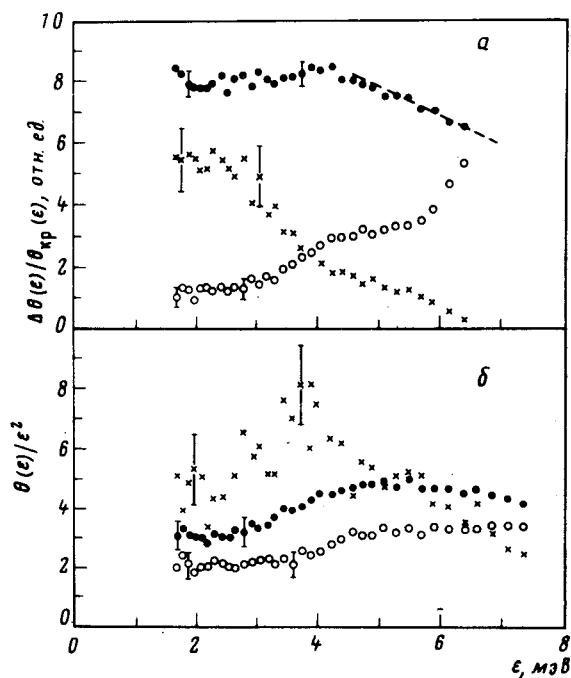


Рис. 3. Энергетическая зависимость отношений $\Theta(\epsilon)/\epsilon^2$ и $\Delta\Theta(\epsilon)/\Theta_{кр}(\epsilon)$: а - $Cu_{33}Zr_{67}$, $\circ - \Theta_{кр}(\epsilon)/\epsilon^2$; $\bullet - \Theta_{ам}(\epsilon)/\epsilon^2$; $+ - \Delta\Theta(\epsilon)/\Theta_{кр}(\epsilon)$; --- - данные из ¹; б - Mg_7, Zn_3 , $\circ - \Theta_{кр}(\epsilon)/\epsilon^2$; $\bullet - \Theta_{ам}(\epsilon)/\epsilon^2$; $+ - \Delta\Theta(\epsilon)/\Theta_{кр}(\epsilon)$

На рис. 3 представлена более подробно низкоэнергетическая часть отношений $\Theta(\epsilon)/\epsilon^2$ и $\Delta\Theta(\epsilon)/\Theta_{кр}(\epsilon)$ для обеих исследованных систем в кристаллическом и аморфном состояниях. Как для металлических стекол, так и для их кристаллических аналогов наблюдаются достаточно протяженные участки, где $\Theta(\epsilon) \sim \epsilon^2$. Причем для $Cu_{33}Zr_{67}$ этот участок

больше для аморфного состояния, чем для кристаллического, а для $Mg_{70}Zn_{30}$ наоборот. Отсюда следует, что неточность выводов работ ^{1,2} об отсутствии у металлических стекол областей $\Theta(\epsilon) \sim \epsilon^2$ связана с неправомерностью экстраполяции полученных авторами результатов на область энергий ниже 5 мэВ, а также, возможно, неправомерностью сравнения данных по $\Theta(\epsilon)$ для металлических стекол с данными по их стабильным кристаллическим состояниям, представляющим собой двухфазные системы.

В заключение авторы выражают благодарность В.Г.Ваксу, А.П.Жернову и Г.Х.Пановой за полезные обсуждения, и Е.В.Мельникову за помощь в приготовлении образцов.

Литература

1. Suck J.B., Rudin H., Güntherodt H.J. et. al. J. Phys. C: Solid St. Phys., 1980, 13, L167.
2. Suck J.B., Rudin H., Güntherodt H.J., Beck H. J Phys. C: Solid State Phys., 1981, 14, 2305.
3. Землянов М.Г., Головин А.Е., Миронов С.П. и др. ПТЭ, 1973, 5, 34.
4. Черноплеков Н.А., Землянов М.Г., Бровман Е.Г., Чичерин А.Г. ФТТ, 1963, 5, 112.
5. Панова Г.Х., Черноплеков Н.А., Шиков А.А., Савельев Б.И. ЖЭТФ, 1982, 82, 548.
6. Карпов В.Г., Паршин Д.А. Письма в ЖЭТФ, 1983, 38, 536.

Институт атомной энергии
им. И.В.Курчатова

Поступила в редакцию
10 июля 1985 г.