

# Ответ на комментарий к работе “Особенности локальной структуры редкоземельных додекаборидов $R\text{B}_{12}$ ( $R=\text{Ho}, \text{Er}, \text{Tm}, \text{Yb}, \text{Lu}$ )” (Письма в ЖЭТФ, 98(3), 187 (2013))

А. П. Менушенков, А. А. Ярославцев, И. А. Залужный, А. В. Кузнецов, Р. В. Черников, Н. Ю. Шицевалова,  
В. Б. Филиппов

Поступила в редакцию 13 сентября 2013 г.

DOI: 10.7868/S0370274X13210133

Мы благодарим авторов комментария за полезную информацию.

Авторы комментария провели дополнительные исследования, подтвердившие, что точность проведенного нами EXAFS-анализа позволяет зарегистрировать смещение небольшой доли редкоземельных ионов из центра усеченных октаэдров  $\text{B}_2\text{O}_3$ . В комментарии высказывается предположение о том, что отсутствие изменения локальной структуры при переходе в фазу каркасного стекла связано с формированием неравновесного состояния в образце, вызванного поглощением рентгеновского излучения синхротронного источника. В случае высокой интенсивности рентгеновского излучения или малой длительности исследуемого процесса такое предположение правомерно. Поэтому необходимо обсудить условия эксперимента, выполненного нами.

Основой спектроскопии рентгеновского поглощения служит поглощение фотонов с энергией около 8–9 кэВ, соответствующей L3-краям поглощения исследованных нами атомов. В диапазоне энергий квантов до 100 кэВ основной вклад в поглощение вносит явление фотоэффекта, при котором происходит фотоионизация электронов с внутренних оболочек поглощающих атомов с образованием вакансии на внутреннем уровне. Время жизни такой вакансии составляет порядка  $10^{-15}$  с. Поэтому возбужденное состояние атома быстро релаксирует [1, 2]. Вероятность возбуждения зависит от интенсивности рентгеновского излучения и числа поглощающих атомов. В проведенных нами экспериментах интенсивность пучка синхротронного излучения на образце составляла  $10^9$  квантов в секунду на  $1 \text{ мм}^2$ . При этом количество поглощающих атомов в сечении пучка можно оценить величиной  $\sim 3 \cdot 10^{16}$  ат./ $\text{мм}^2$ .

Таким образом, даже при полном поглощении доля возбужденных атомов не превышает  $10^{-7}$ , что не

может привести к возбужденному состоянию всей системы. Вместе с тем если бы возбуждение оказывало влияние на сам исследуемый процесс, то вне зависимости от количества возбуждаемых атомов EXAFS-анализ дал бы информацию о каком-либо неравновесном состоянии системы. Мы исследовали процесс колебаний редкоземельных атомов относительно жесткой подрешетки из атомов бора с энергией колебаний  $\sim 200$  К, соответствующей фоновой частоте  $\sim 4 \cdot 10^{12}$  Гц. Таким образом, период исследуемых колебаний на два порядка превышает время жизни возбуждения атома при поглощении рентгеновского кванта. В результате возбуждение атома не может оказать сколь либо существенного влияния на эти колебания.

Мы полагаем, что EXAFS-анализ не может зарегистрировать переход в фазу каркасного стекла по иной причине. При переходе происходит изменение динамики колебаний атомов, колеблющихся в двухъямном потенциале. Однако доля таких атомов относительно полного числа атомов не меняется. В исследованных образцах эта доля составляет всего несколько процентов. Ее выделение находится на пределе точности EXAFS эксперимента. Детектирование же изменений в динамике колебаний столь малой доли атомов выходит за пределы чувствительности EXAFS.

- 
1. *X-ray Absorption: Principles, Applications, Techniques of EXAFS, SEXAFS, and XANES*, in *Chemical Analysis 92*, (ed. by D. C. Koningsberger and R. Prins), John Wiley & Sons, 1988.
  2. *Principles and Applications of EXAFS*, Chapter 10, in *Handbook of Synchrotron Radiation*, (ed. by E. A. Stern, S. M. Heald, and E. E. Koch), North-Holland, 1983.