

КОММЕНТАРИЙ К СТАТЬЕ «ЭЛЕКТРОННОЕ РАССЕЯНИЕ СВЕТА И ПЕРЕНОРМИРОВКА ЭЛЕКТРОННОГО СПЕКТРА В LuB_{12} » Ю. С. ПОНОСОВА, С. В. СТРЕЛЬЦОВА, А. В. ЛЕВЧЕНКО, В. Б. ФИЛИППОВА

*Н. Е. Случанко**, *В. В. Глушков*, *С. В. Демидов*

*Институт общей физики им. А. М. Прохорова Российской академии наук
119991, Москва, Россия*

Поступила в редакцию 22 августа 2016 г.

DOI: 10.7868/S0044451017010175

Комментируемая статья [1] посвящена исследованию неупругого рассеяния света (РС) в монокристаллах LuB_{12} различного изотопического состава по бору. По мнению авторов, измерения, выполненные в работе, относятся к области температур 10–650 К, и их результаты свидетельствуют об электронном характере рассеяния света в монокристаллах додекаборида лутеция. В частности, в работе наблюдаются 1) сильная температурная зависимость, приводящая к сдвигу широкого максимума в спектрах неупругого РС до 800 см^{-1} при высоких температурах, и 2) изменение положения максимума при использовании разных энергий возбуждения — 633 нм (1.96 эВ) и 532 нм (2.33 эВ). Полученные авторами результаты послужили основанием для критики работы [2], в которой ранее было предложено альтернативное объяснение низкочастотных (120 см^{-1} и 185 см^{-1}) аномалий в LuB_{12} , связанное с возникновением при низких температурах бозонного пика в спектрах комбинационного РС.

Отметим, прежде всего, что в работе [2] и в комментируемой работе имеются существенные различия в полученных результатах, которые и обуславливают предложенную их авторами различную интерпретацию наблюдаемых эффектов. В частности, в отличие от результатов комментируемой статьи, в работе [2] в интервале температур выше 240 К максимум в спектрах рамановского отклика $R(\omega)$ не наблюдается (см. рис. 5 из работы [2], а также рис. 1).

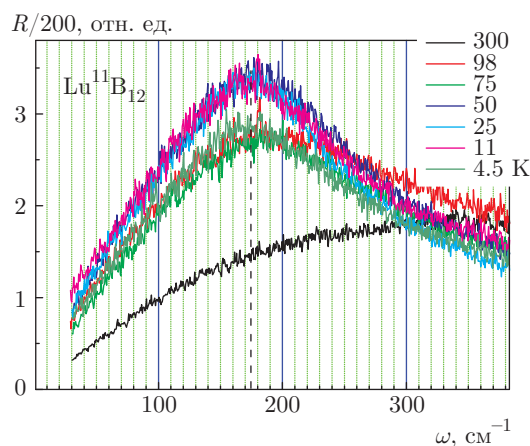


Рис. 1. (В цвете онлайн) Спектры рамановского отклика $R(\omega)$, измеренные на свежих сколах монокристалла $\text{Lu}^{11}\text{B}_{12}$ в интервале температур 4.5–98 К. Для сравнения представлен также спектр при комнатной температуре

Указанная особенность обнаруживается в [2] лишь при температурах ниже 240 К (см. рис. 2) и значительно усиливается ниже 140 К. Подчеркнем также, что, в отличие от результатов, полученных в работе [1], в работе [2] положение широкого максимума на кривых $R(\omega)$ практически не зависит от температуры и для изотопически чистых кристаллов LuB_{12} отвечает $\omega_{max} \sim 185 \text{ см}^{-1}$ (см. рис. 2).

На наш взгляд, различия в спектрах неупругого РС LuB_{12} можно объяснить методическими ошибками, допущенными авторами комментируемой статьи. В частности, уровни возбуждения (мощность лазера 2–5 мВт в пятне 5–10 мкм [2]), используемые в работе [1] при исследованиях LuB_{12} , приводят

* E-mail: nes@lt.gpi.ru

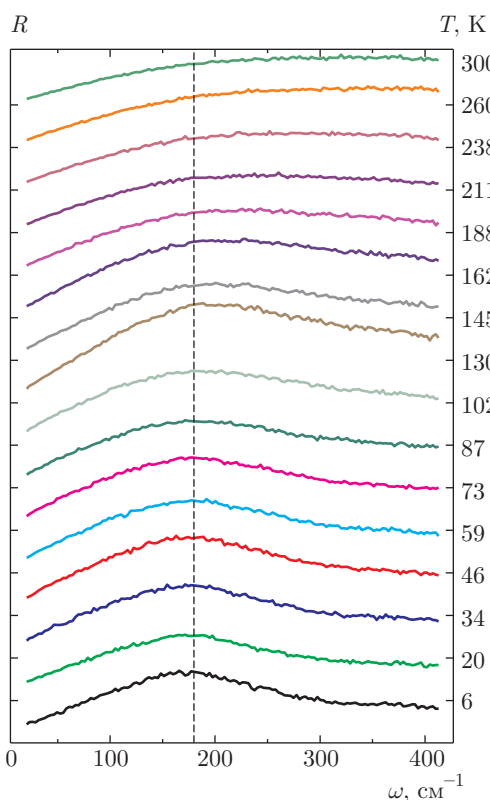


Рис. 2. Спектры рамановского отклика $R(\omega)$, измеренные на свежих сколах монокристалла $\text{Lu}^{11}\text{B}_{12}$ в интервале температур 6–300 К. Для удобства восприятия кривые смещены по оси ординат на постоянную величину

к перегреву исследуемых кристаллов (эффективная мощность 20–50 Вт/мм²), что в условиях высокого вакуума в криостате с образцом, расположенным на «холодном пальце» [3], очевидно, обуславливает возникновение anomalously больших градиентов температуры между термометром и образцом. При этом кроме неконтролируемого нагрева образца, делающего невозможным проведение низкотемпературных измерений, непосредственно на образце возникают большие температурные градиенты, которые обуславливают температурно-неравновесное состояние кристалла. Напротив, в работе [2] спектральные измерения проводились в прокачанном (gas-flow) гелиевом криостате в атмосфере обменного газа, причем размер области оптического возбуждения около 100×100 мкм² выбирался с целью устранения влияния перегрева на спектральные характеристики LuB_{12} .

С другой стороны, при организации и представлении результатов исследований [1] не учитывается имеющаяся в научной литературе информация о термоэмиссионных и оптических характеристиках

LuB_{12} . В частности, в работе [4] показано, что LuB_{12} является хорошим термоэмиссионным материалом с низкими значениями работы выхода электронов, причем зависящая от температуры работа выхода $\varphi(T)$ оказывается сравнимой с шириной зоны проводимости (около 1.7 эВ [4]) и энергией кванта излучения (1.96–2.33 эВ). По данным [4] работа выхода для LuB_{12} значительно различается для кристаллографических направлений (100) и (110) и практически линейно уменьшается с температурой, следуя зависимостям $\varphi^{(100)}(T) = -0.16 + 24.5 \cdot 10^{-4}T$ и $\varphi^{(110)}(T) = 0.49 + 18.8 \cdot 10^{-4}T$, где T приведена в эВ. В такой ситуации нам представляется, что экспериментальные результаты, лежащие в основе выводов [1] об электронном, Q -зависимом рассеянии света, были получены при измерениях существенно неравновесного электронного приповерхностного слоя, возбужденного светом в кристалле додекаборида лутеция, находящемся, кроме того, в неравновесном тепловом состоянии. При этом, как и следует ожидать, в используемом температурном интервале $T < 1000$ К меньшее значение работы выхода для направления (100) по сравнению с (110) приводит к сдвигу для (100) низкочастотной особенности в спектрах вверх по шкале частот (см. рис. 4 комментируемой работы). Аналогично, в отличие от предложенного в [1] объяснения в терминах Q -зависимого рассеяния света, при возбуждении на различных длинах волн излучения рост энергии кванта возбуждения от 1.96 эВ до 2.33 эВ приводит к усилению неравновесности, что является причиной сдвига энергии максимума «электронного континуума» в область высоких частот.

Однако наиболее существенный момент оказывается связан с малым значением частоты релаксации примесного рассеяния $\nu = 10$ см⁻¹, используемым авторами комментируемой работы для аппроксимации полученных ими спектров, что также не соответствует реальной ситуации. В действительности для LuB_{12} по данным оптических измерений [5] были найдены характерные значения $\nu \sim 31$ мэВ ≈ 250 см⁻¹, которые значительно превышают используемые в расчетах [1]. Из-за столь большой частоты релаксации электронов не приходится ожидать в чисто электронном рассеянии особенностей меньшей ширины, и, таким образом, расчетные спектры, опубликованные в статье [1], должны претерпеть очень существенные изменения. Подчеркнем, что большие значения частоты электронной релаксации являются типичными для додекаборидов. Так, в работе [5] для ZrB_{12} было найдено $\nu \sim 33$ мэВ ≈ 264 см⁻¹, а сравнительно недавно

в работе [6] был обнаружен низкочастотный бозонный пик с $\omega_{max} \sim 100 \text{ см}^{-1}$ в рамановских спектрах ZrV_{12} с различным изотопическим составом по бору.

В завершение отметим, что приведенные в работах [7, 8] аргументы в пользу механизма электронного рассеяния света, обуславливающего появление широких аномалий в спектрах неупругого РС гексаборидов LaB_6 и YB_6 , на наш взгляд, также требуют критической оценки. Например, в случае LaB_6 , который является материалом с рекордно низкими значениями работы выхода электронов (см., например, [9]), сравнимыми с плазменной частотой (около 2 эВ [10]) и энергией кванта излучения (1.96–2.5 эВ [7, 8]), авторами работ [11, 12] была обнаружена значительная анизотропия зависимости $\varphi(T)$, т. е. ситуация оказывается, в целом, аналогичной описанной выше для LuB_{12} .

ЛИТЕРАТУРА

1. Ю. С. Поносов, С. В. Стрельцов, А. В. Левченко, В. Б. Филиппов, *ЖЭТФ* **150**, 586 (2016).
2. Н. Е. Случанко, А. Н. Азаревич, А. В. Богач, И. И. Власов, В. В. Глушков, С. В. Демишев, А. А. Максимов, И. И. Тартаковский, Е. В. Филатов, К. Флахбарт, С. Габани, В. Б. Филиппов, Н. Ю. Шицевалова, В. В. Мощалков, *ЖЭТФ* **140**, 536 (2011).
3. Частное сообщение Ю. С. Поносова.
4. D. A. Voronovich, A. A. Taran, N. Yu. Shitsevalova, G. V. Levchenko, and V. B. Filipov, *Funct. Mat.* **21**, 266 (2014).
5. J. Teyssier, R. Lortz, A. Petrovich, D. van der Marel, V. Filippov, and N. Yu. Shitsevalova, *Phys. Rev. B* **78**, 135504 (2008).
6. Н. Е. Случанко, А. Н. Азаревич, М. А. Анисимов, А. В. Богач, С. Ю. Гаврилкин, В. В. Глушков, С. В. Демишев, А. А. Максимов, И. И. Тартаковский, Е. В. Филатов, В. Б. Филиппов, А. Б. Лященко, *Письма в ЖЭТФ* **103**, 767 (2016).
7. Ю. С. Поносов, С. В. Стрельцов, *Письма в ЖЭТФ* **97**, 517 (2013).
8. Ю. С. Поносов, А. А. Махнев, С. В. Стрельцов, В. Б. Филиппов, Н. Ю. Шицевалова, *Письма в ЖЭТФ* **102**, 565 (2015).
9. M. Trenary, *Sci. Technol. Adv. Mater.* **13**, 023002 (2012).
10. S. Kimura, T. Namba, S. Kunii, and T. Kasuya, *Phys. Rev. B* **50**, 1406 (1994).
11. R. Nishitani, M. Aono, T. Tanaka, C. Oshima, S. Kawai, H. Iwasaki, and S. Nakamura, *Surf. Sci.* **93**, 535 (1980).
12. L. W. Swanson, M. A. Gesley, and P. R. Davis, *Surf. Sci.* **107**, 263 (1981).