Релаксация ультразвука примесными центрами с эффектом Яна-Теллера в кубических кристаллах

Аверкиев Н.С.¹, Берсукер И.Б.², Гудков В.В.³, Сарычев М.Н.³, Жевстовских И.В.^{3,4},
Бондаревская А.С.³, Хоссени У.А.Л.^{3,5}, Шутов И.С.³, Егранов А.В.⁶

¹ ФТИ им. А.Ф. Иоффе РАН, 194021, С.-Петербург, ул. Политехническая, 2

² Institute for Theoretical Chemistry, the University of Texas at Austin, Austin, Texas 78712, USA

³ Уральский федеральный университет, 620002, Екатеринбург, ул. Мира, 19

⁴ ИФМ им. М.Н. Мухеева УрО РАН, 620990, Екатеринбург, ул. С. Ковалевской, 18

⁵ Department of physics, Faculty of science, Benha University, Benha 13511, Egypt

⁶ ИГХ им. А.П. Виноградова СО РАН, 664033, Иркутск, ул. Фаворского, 1 "А"

DOI 10.34077/Semicond2019-341

Примеси переходных металлов в кристаллах типа сфалерита и флюорита создают локальные центры с вырожденными электронными термами в основном или возбужденном состоянии, подверженные эффекту Яна-Теллера [1], в результате которого их тетраэдрическое или кубическое окружение искажается вдоль эквивалентных кристаллографических осей, образуя многоминимумный адиабатический потенциал (АП). В случае электронного Е терма глобальные минимумы АП имеют тетрагональную симметрию, в то время как в случае Т терма минимумы могут быть тетрагональными, тригональными или орторомбическими [1]. Ультразвуковая волна, распространяющаяся в кристалле, нарушает эквивалентность минимумов, и создаёт неравновесное распределение центров по энергиям в минимумах, которое релаксирует к равновесному состоянию. Процесс характеризуется временем релаксации τ , зависящим от механизмов релаксации и вида адиабатического потенциала (АП) комплекса, содержащего основные параметры строения примесного центра. Основными механизмами релаксации являются термическая активация ($\tau_T = \tau_0 \exp(V_0 / T)$), туннелирование через потенциальный барьер ($\tau_t = aT^{-1}$) и двухфононный механизм ($\tau_R = bT^{-3}$) [2]. Константы a и b зависят, в том числе, и от значения линейной константы вибронной связи и величины туннельного расщепления. a и b могут быть определены моделированием вкладов в скорость релаксации и сравнением с экспериментальной кривой $\tau(T)$.

Ультразвуковые исследования оказались весьма эффективными для количественного описания АП и процессов релаксации. В частности, было установлено, что в ZnSe:Cr^{2+} глобальные минимумы АП имеют тетрагональную симметрию [3], а в $\text{SrF}_2:\text{Cr}^{2+}$ - орторомбическую [4]. При этом в обоих случаях основным механизмом релаксации является термическая активация.

В данной работе приводятся результаты исследований кристаллов ZnSe:Fe^{2+} [$E \otimes e$ задача эффекта Яна-Теллера] и $\text{CaF}_2:\text{Ni}^{2+}$ [$T \otimes (e + t_2)$ задача]. Измерения температурных зависимостей поглощения ультразвуковых волн, связанных с модулями $(c_{11} - c_{12})/2$, c_{44} и c_ℓ были выполнены в интервале 4–150 К на частотах 24–161 МГц. Установлено, что в кристалле ZnSe:Fe^{2+} имеют место все три перечисленные механизмы релаксации, в то время как в кристалле $\text{CaF}_2:\text{Ni}^{2+}$ релаксация обусловлена активационным механизмом. На основе экспериментальных данных рассчитаны параметры, характеризующие ян-теллеровские центры.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект 18-02-00332 а) и Центра превосходства УрФУ «Радиационные и ядерные технологии».

[1] I.B. Bersuker, *The Jahn-Teller Effect*, Cambridge University Press, Cambridge (2006).

[2] M.D. Sturge et al., *Phys. Rev.* **155**, 218 (1967).

[3] N.S. Averkiev et al., *Phys. Rev. B* **96**, 094431 (2017).

[4] I.V. Zhevstovskikh et al., *J. Appl. Phys.*, **119**, 225108 (2016).