

Резонансное и релаксационное поглощение ультразвука анизотропными ян-теллеровскими центрами в GaAs

К. А. Барышников

Санкт-Петербургский государственный политехнический университет,
Санкт-Петербург, Россия
тел: (812) 465-24-46, эл. почта: barysh.1989@gmail.com

Экспериментальные исследования распространения ультразвука в полупроводниках позволяют определить такие важные параметры материала как упругие модули, времена релаксации, симметрию дефектов [1]. Особую роль в этой методике играет изучение резонансного и релаксационного поглощения. Резонансное поглощение будет наиболее эффективно, если все уровни расщеплены на одинаковую величину, совпадающую с энергией поглощаемого фонона. Очевидно, что такой случай не может быть реализован за счет случайных полей. Кроме резонансного, возможно также и релаксационное поглощение ультразвука, связанное с неравновесностью (отставанием от равновесного) заполнения расщепленных подуровней центра, изменяющих свое положение в поле звуковой волны. Поскольку энергии звуковых квантов существенно меньше энергии квантов электромагнитного поля, то поглощение ультразвука позволяет изучать примеси, у которых основное состояние расщеплено на небольшую величину [2].

В данной работе рассмотрено поглощение ультразвука на анизотропных ян-теллеровских центрах, основное состояние которых расщепилось за счет туннелирования ядер между эквивалентными симметричными конфигурациями [3, §3.2].

В работе [4] показано, что элементы I группы периодической таблицы: Cu, Ag, Au, – создают в кристалле GaAs глубокие акцепторы, связывающие две дырки в основном состоянии, и эти дырки оказываются подвержены сильному эффекту Яна-Теллера. В работе [4] изучались статические свойства Cu, Ag, Au, и не рассматривались динамические задачи. Нами показано, что динамическое (туннельное) расщепление этих центров составляет несколько микроэлектронвольт и может привести к резонансному поглощению ультразвука. В режиме малых интенсивностей ультразвуковых волн теоретически рассчитаны коэффициенты резонансного и релаксационного поглощения. Мы показали, что во многих случаях возможно наблюдать экспериментально оба вида поглощения.

Для определенности было рассмотрено расщепление уровней ян-теллеровского центра Cu в кристалле GaAs. Данная задача напоминает так называемую E-e — задачу [3, §2.1], но в отличие от нее в данной работе учтено, что центр Cu (элемент I группы таблицы Менделеева), замещая Ga (элемент III груп-

пы), связывает две дырки, обменное взаимодействие между которыми учтено. Считая массу большой, но конечной, рассчитан туннельный эффект в адиабатическом потенциале в случае малого квадратичного возмущения (масса должна быть такой, что энергия гармонических колебаний около дна ямы была бы много меньше потенциального барьера между ямами). Для этого нами обобщен метод Ландау для квазиклассического расчета величины туннельного расщепления на случай трёх ям замкнутых в кольцо.

Получена величина туннельного расщепления в квазиклассическом приближении и показано, что для реальных значений параметров центра Cu в GaAs [4] она сравнима с энергиями квантов ультразвуковых колебаний. На этой основе рассчитаны коэффициенты резонансного и релаксационного поглощения ультразвука и показано, что их значения достижимы в эксперименте.

Литература

1. V. Gudkov. The Jahn-Teller Effect, Fundamentals and Implications for Physics and Chemistry, "Springer" (2009).
2. K. Lassmann, Нр. Schad, Sol. St. Comm. 18 (1976).
3. И. Б. Берсукер, Эффект Яна-Теллера и вибронные взаимодействия в современной химии, Наука (1987).
4. Н. С. Аверкиев и др. ФТТ, 32, (1990).