

ФОТОПРОВОДИМОСТЬ МОНОКРИСТАЛЛОВ C_{60} В МАГНИТНОМ ПОЛЕ

Головин Ю.И., Лопатин Д.В.*, Николаев Р.К.⁽¹⁾, Родаев В.В., Умрихин А.В.,

Тамбовский Государственный Университет, 392622 Тамбов, Россия

(1) Институт Физики Твёрдого Тела РАН, 142432 Черноголовка, Россия

Факс +7 (0752) 710307, E-mail: lopatin@tsu.tmb.ru

Введение

Фуллерены, фуллериты и их химические производные являются перспективными материалами для применения в области нанотехнологий, спинтроники и одно-электроники [1]. Таким образом, становится актуальной проблема поиска путей высокоскоростного, бесконтактного, селективного управления электронно-оптическими свойствами фуллеренов и фуллерено-содержащих материалов. Известно, что слабое магнитное поле (МП) с индукцией $B < 1$ Тл эффективно влияет на электронно-оптические свойства ряда органических соединений (антрацен, тетрацен и т.д.) [2].

Цель данной работы заключалась в обнаружении и изучении эффектов, связанных с влиянием слабых постоянного и микроволнового магнитных полей (в частности, удовлетворяющих условию ЭПР) на фотопроводимость монокристаллов C_{60} .

Результаты и обсуждение

Исследование эффекта влияния слабого МП на фотопроводимость монокристаллов C_{60} производилось для трёх основных оптических переходов в фуллерите C_{60} 2.64, 3.07, 3.87 эВ, которые как было показано в [3] определяют спектр фотопроводимости монокристаллов C_{60} .

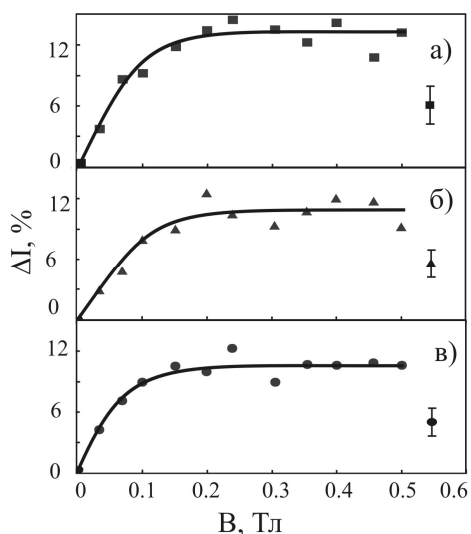


Рис.1. Зависимости прибавки фототока ΔI от индукции магнитного поля B для оптических переходов с энергиями а) 2.64 эВ, б) 3.07 эВ, в) 3.87 эВ.

Зависимости прибавки фототока для трех оптических переходов от индукции магнитного поля B представлены на рисунке 1. Вид полевых зависимостей свидетельствует об участии в фотопроводимости процессов, связанных с модуляцией концентрации синглетных и триплетных экситонов слабым МП [2].

При помощи стандартного ЭПР спектрометра X-диапазона RadioPan SE/X 2547 был получен PCDMR спектр электронного парамагнитного резонанса, детектируемый по изменению фотопроводимости фуллерита C_{60} (рис. 2). Возбуждение фотопроводимости осуществлялось светом от ксеноновой лампы, пропущенным через светосильный монохроматор, дающий на выходе пучок с длиной волны 470 нм (2.64 эВ). Спектр имеет один положительный пик при $g \sim 2$ с полушириной $\Delta B = 0.007$ Тл. Появление резонансного сигнала, вероятнее всего, связано с $\Delta m_s = \pm 1$ спиновыми переходами в электронно-дырочных парах, являющихся предшественниками образования свободных носителей заряда. По полуширине пика ΔB можно оценить время жизни данных промежуточных комплексов как

$$\tau = h / (g\mu\Delta B) \sim 10^{-9} \text{ с, где } (\mu - \text{магнетон Бора}).$$

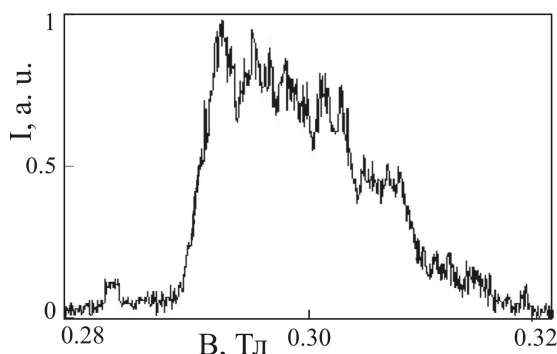


Рис.2. Спектр ЭПР, детектируемый по изменению фотопроводимости фуллерита C_{60} (частота микроволнового магнитного поля ~ 8.99 ГГц).

Обнаружено, что зависимости прибавки фототока в МП ($B = 0.4$ Тл) от напряженности электрического поля E (ЭП) приложенного к контактам образца характеризуются максимумами при 4.2×10^4 , 3.1×10^4 и 2×10^4 В/м при

возбуждении квантами света с энергиями 2.64, 3.07, 3.87 эВ, соответственно (рис. 3).

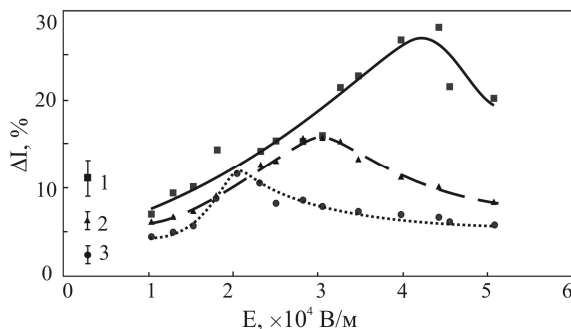


Рис. 3. Электрополевые зависимости прибавки фототока в МП для трех оптических переходов с энергиями 1) 2.64 эВ, 2) 3.07 эВ, 3) 3.87 эВ.

Влияние ЭП и МП на механизм генерации носителей заряда можно представить в виде следующей схемы. Поглощение кванта света приводит к образованию экситона с переносом заряда. При этом, чем больше энергия квантов возбуждения, тем больше расстояние между электроном и дыркой в экситоне. Полученные спектры обращенного ЭПР позволяют определенно утверждать, что спиновое состояние электронно-дырочных пар влияет на электронно-оптические свойства монокристаллов C_{60} . Как правило, в молекулярных кристаллах рекомбинация из синглетного состояния S происходит эффективнее, чем из триплетного T . В предположении, что светом генерируются пары, преимущественно пребывающие в S состоянии, роль постоянного МП (в отсутствие микроволнового МП) может сводиться к увеличению заполнения T_0 состояний за время жизни пары τ . Это, в свою очередь, приводит к уменьшению вероятности рекомбинации носителей заряда, увеличению интенсивности диссоциации экситонов и, соответственно, к росту фотопроводимости. При наложении перпендикулярно постоянному магнитному полю СВЧ магнитного поля, удовлетворяющего условию ЭПР, осуществляются переходы между уровнями $T_{\pm 1}$ и T_0 , в результате обедняется смешанное за счет постоянного магнитного поля S - T_0 состояние. В результате увеличивается выход экситонов в триплетном состоянии, что приводит, в конечном счете, к резонансному изменению фотопроводимости, как видно из рис. 3. Необходимым условием эффективного действия МП на фототок в рамках этого механизма является соотношение: $\tau_{S-T} < \tau < \tau_r$, где τ_r - время спиновой релаксации, τ_{S-T} - время спиновой конверсии. Это обеспечивает

отсутствие термализации спиновой системы за время жизни пары и, одновременно, достаточно высокую скорость S - T переходов.

Одной из причин возникновения S - T переходов в МП может быть различие в g -факторах электрона и дырки Δg , которое обеспечивает периодические переходы между S и T_0 состояниями с периодом $\tau_{S-T} = h/\mu\Delta gB$ (μ - магнетон Бора). Данные, полученные из PCDMR спектра, позволили оценить время жизни пары и время спиновой конверсии как $\tau \sim 10^{-9}$ с, $\tau_{S-T} \sim 10^{-10}$ с. При этом время спиновой релаксации для большинства молекулярных кристаллов равно $\tau_r = 10^{-6} - 10^{-8}$ с. Влияние ЭП на величину фотопроводимости монокристаллов C_{60} в слабом МП можно объяснить следующим образом. С увеличением E происходит увеличение радиуса начального разделения пар r_0 , а, следовательно, растет вероятность избежать рекомбинации пары, что и приводит к росту ΔI при малых значениях E . При более высоких значениях E повышается вероятность диссоциации пар в состояния с некоррелированными спинами, что и обуславливает нелинейный характер электрополевых зависимостей фотопроводимости фуллерита C_{60} в МП. Полученные данные позволили оценить расстояние $R \geq 3.4$ нм, на котором компоненты электронно-дырочной пары переходят в состояния с некоррелированными спинами.

Выводы

Таким образом, в работе показано, что фотопроводимость монокристаллов C_{60} существенно зависит от спинового состояния промежуточных электронно-дырочных пар.

Работа выполнена при поддержке Государственной исследовательской программы "Развитие научного потенциала высшей школы" (грант № 717).

Литература

1. Трефилов В.И., Щур Д.В., Тарасов Б.П. и др., Фуллерены – основы материалов будущего. АДЕФ – Украина, Киев, 2001.
2. Зельдович Б.Я. Бучаченко А.Л., Франкевич Е.Л. Магнитно-спиновые эффекты в химии и молекулярной физике. УФН 1988; 155 (3): 3-45.
3. Головин Ю.И., Лопатин Д.В., Николаев Р.К., Умрихин А.В., Шмурак С.З. Спектр фотопроводимости монокристаллов C_{60} в магнитном поле. ДАН. 2002; 387 (6): 1-3.