

РАДИАЦИОННАЯ ПРОВОДИМОСТЬ ФУЛЛЕРИТОВ C₆₀, СТИМУЛИРОВАННАЯ МАЛОИНТЕНСИВНЫМ β-ОБЛУЧЕНИЕМ

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

Тамбовский государственный университет, Тамбов, 392622 Россия

⁽¹⁾ Институт физики твердого тела РАН, Черноголовка, 132432 Россия

Введение

Фуллерены находят все большее практическое применение (наноэлектроника, нанолитография [1], ориентирующие покрытия для фото-преобразователей энергии [2] и т.д.). В связи с этим значительно расширяются исследования электрических свойств фуллеренов.

На сегодняшний день одним из направлений в исследовании электрических свойств фуллеритов является изучение влияния ионизирующего облучения на эти свойства. Большинство работ посвящено изучению влияния умеренных и больших флюенсов $F > 10^{11} \text{ см}^{-2}$ на электрические свойства фуллеритов C₆₀ [3]. Эффекты, связанные с влиянием малодозового ионизирующего облучения пока недостаточно изучены.

Цель данной работы заключалась в обнаружении и изучении эффектов, связанных с влиянием малодозового ($F < 10^{10} \text{ см}^{-2}$) ионизирующего облучения на электрические свойства монокристаллов C₆₀ в интервале температур, включающих фазовый переход fcc-sc.

Результаты и обсуждение

Исследовали монокристаллы с типичной для C₆₀ чистотой (99.95%), выращенные в ИФТТ РАН. Характеристикой фотопроводимости служил ток I , протекающий через контакты, которые крепили на одной грани образца при помощи серебряной пасты. К контактам прикладывали постоянное напряжение 60-70 В. Источником β-облучения служил препараты на основе ⁹⁰Sr + ⁹⁰Y со средневзвешенной энергией испускаемых электронов $\langle E \rangle = 0.536 \text{ MeV}$. Все измерения проводились при комнатной температуре.

На рисунке 1 представлены некоторые зависимости относительной прибавки тока ΔI_R , стимулированного малодозовым ионизирующим облучением, от времени экспозиции. Времена насыщения возрастают с увеличением интенсивности облучения от 5 до 20 min. Времена релаксации во всех случаях остаются неизменным (~ 60 мин). Обнаружено линейное увеличение зависимости проводимости фуллерита от интенсивности β-облучения (рис. 2).

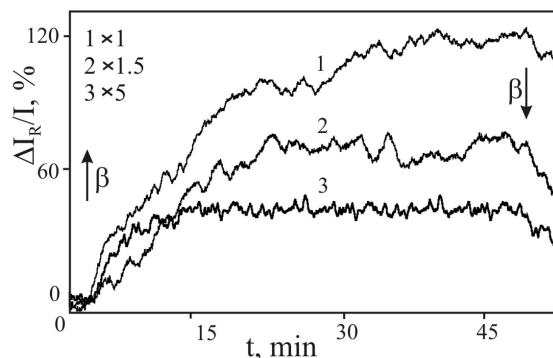


Рис. 1. Изменение прибавки радиационной проводимости монокристаллов C₆₀ от β-облучения разной интенсивности K: 1 – K=1,7·10⁶ см⁻²·с⁻¹, 2 – K=0,9·10⁶ см⁻²·с⁻¹, 3 – K=0,09·10⁶ см⁻²·с⁻¹. Стрелками показано начало и прекращение β-облучения.

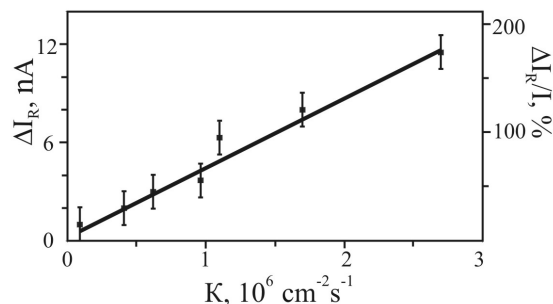


Рис. 2. Зависимость прибавки тока ΔI_R от интенсивности ионизирующего облучения

Исследование β-стимулированной проводимости монокристаллов C₆₀ в интервале 230<T<320 К показало, что радиационная проводимость фуллерита имеет термоактивационный характер в fcc-фазе. Полученное значение активационной энергии $E_{fcc} = 0.17 \text{ eV}$ в близко к энергии активации фотопроводимости $E = 0.2 \text{ eV}$ [4]. При температуре ниже фазового перехода fcc-sc (T<260-255 К) наблюдается уменьшение энергии активации до $E_{sc} = 0.09 \text{ eV}$.

Наложение постоянного МП после выхода зависимости $\Delta I_R / I$ в насыщение приводит к увеличению радиационно-стимулированной проводимости до 3.5 % (рис. 3). Влияние магнитного поля на величину радиационной проводимости σ не может быть связано с изменением подвижности носителей тока в МП. Действительно, относительное изменение

проводимости в органических кристаллах, связанное с искривлением траектории движения свободных носителей заряда в МП $B \sim 0.1-1$ Т, с типичной для C_{60} подвижностью $\mu \sim 10^{-2}$ $\text{cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$, составляет $\Delta\sigma/\sigma \sim 10^{-10}$, в то время как экспериментальные значения превышали $3 \cdot 10^{-2}$. Кроме того, отсутствует характерная для гальваномагнитных эффектов зависимость относительной ориентации МП и направления протекания тока.

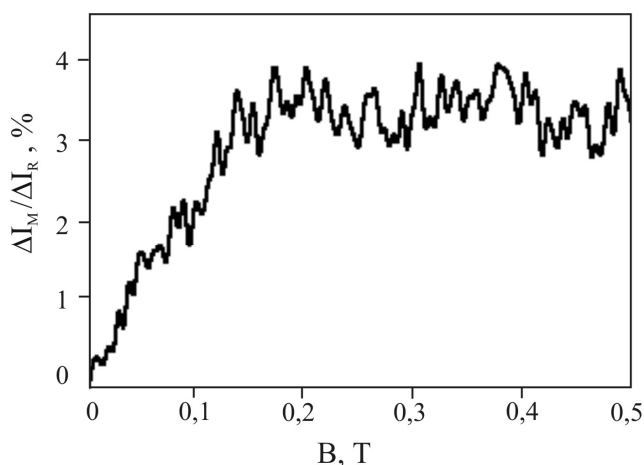


Рис. 3. Зависимость прибавки радиационного тока $\Delta I_M / \Delta I_R$ от индукции постоянного магнитного поля B .

Основной эффект взаимодействия быстрых электронов с веществом определяется ионизацией молекул и образованием отдельных точечных дефектов. К возрастанию проводимости может привести многокаскадная ударная ионизация молекул решетки кристаллов C_{60} релятивистскими электронами внешнего возбуждения. При этом образованный при первичном акте ионизации электрон проводимости обладает достаточной энергией для дальнейшей ионизации молекул C_{60} . Оценим прибавку тока в этом случае $\Delta I_R = K \cdot e \cdot S \cdot \langle E \rangle / E_0 \sim 10^{-8}-10^{-9}$, где K – интенсивность ионизирующего облучения, $e = 1.6 \cdot 10^{-19}$ С – заряд электрона, S – площадь верхней грани исследуемого образца, $E_0 \sim 20$ eV – энергия заведомо большая энергии ионизации молекулы фуллерена. Видно, что рассчитанная величина лежит в пределах экспериментальных значений $\Delta I_R = 10^{-8}-10^{-9}$ А. Однако большие времена нарастания и релаксации радиационного тока ставят под сомнение тот факт, что увеличение проводимости обусловлено только многокаскадной ударной ионизацией молекул C_{60} . Необходимо учитывать как существующие глубокие центры захвата свободных носителей заряда, так и образованные под действием β -облучения новые радиационные дефекты, которые также являются ловушками свободных носителей заряда. При этом в начале β -экспозиции одновременно происходит

генерация центров захвата и их заполнение. При выходе зависимости в насыщение устанавливается динамическое равновесие между этими конкурирующими процессами.

Одной из основных причин увеличения радиационной проводимости в МП могут быть магниточувствительные неравновесные процессы, связанные с прыжковыми механизмами переноса носителей зарядов или изменением скорости захвата (освобождения) ловушками электронов и дырок.

В пользу последнего предположения говорят большие времена нарастания и спада радиационно-стимулированной проводимости, что свидетельствуют о значительном вкладе в нее дефектной структуры монокристаллов C_{60} .

Выводы

Таким образом, в работе показано, что проводимость монокристаллов C_{60} чувствительна к малодозовому ионизирующему облучению. Так же предложены модели, объясняющие данные результаты.

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. Ракчеева Л.П., Каманина Н.В. Перспективы использования фуллеренов для жидкокристаллических композиций. Письма в ЖТФ 2002; 28(11): 28-36.
3. Kalish R., Samoiloff A., Hoffman A., Uzan-Saguy C., McCulloch D., Prawer S. Disintegration of C_{60} by heavy-ion irradiation. Physical review B 1993; 48(24): 18235-18238.
4. Макарова Т.Л. Электрические и оптические свойства мономерных и полимеризованных фуллеренов. Физика и техника полупроводников 2001; 35(3): 257-293.