

## Влияние малодозового $\beta$ -облучения на проводимость монокристаллов $C_{60}$

© Ю.И. Головин, М.А. Иванова, Д.В. Лопатин, Р.К. Николаев\*, А.В. Умрихин

Тамбовский государственный университет им. Г.Р. Державина,  
392622 Тамбов, Россия

\* Институт физики твердого тела Российской академии наук,  
142432 Черноголовка, Московская обл., Россия

E-mail: lopatin@tsu.tmb.ru

(Поступила в Редакцию 18 марта 2004 г.)

Обнаружено увеличение проводимости монокристаллов  $C_{60}$  на 55–120% под действием малодозового  $\beta$ -облучения. Показано, что данный эффект может быть связан с многокаскадной ударной ионизацией молекул  $C_{60}$ .

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант № 02-02-17571) и ФЦП „Фуллерены и атомные кластеры“.

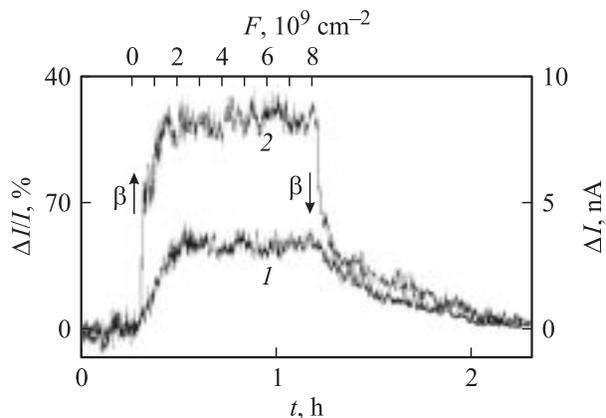
Исследование проводимости твердых тел дает важную информацию об их электронной подсистеме и взаимодействии носителей заряда с атомами вещества. Контролируемое введение радиационных дефектов позволяет в широких пределах изменять электрофизические характеристики полупроводников, такие как электропроводность, тип проводимости, концентрация, подвижность и время жизни носителей заряда [1]. Разработка и широкое использование радиационных технологий в электронной технике [2] свидетельствуют о высокой эффективности данных методов. В последнее время актуальной задачей является исследование электрофизических свойств монокристаллов  $C_{60}$  и производных на основе фуллеренов в связи с перспективой их применения в микро- и наноэлектронике [3]. В [4] сообщалось об изменении энергии перехода НОМО–ЛУМО и других молекулярных переходов в фуллерите  $C_{60}$  под воздействием электронного облучения с энергией электронов 100–1000 eV. Целью данной работы являются обнаружение и исследование влияния малодозового  $\beta$ -облучения на электропроводность фуллерита.

Для исследования использовались монокристаллы  $C_{60}$  высокой чистоты (99.95%  $C_{60}$ ), выращенные в ИФТТ РАН. Характеристикой проводимости служил ток  $I$ , протекающий через индиевые контакты, которые крепились на одной из граней образца при помощи серебряной пасты. К контактам прикладывалось постоянное напряжение  $U = 50–70$  V. Сопротивление внешней цепи при всех измерениях было намного меньше сопротивления образца, которое составляло  $\sim 10^9 \Omega$  при его характерных линейных размерах 3–5 mm. Источником  $\beta$ -излучения служил препарат на основе  $^{90}\text{Sr} + ^{90}\text{Y}$  с активностью  $A_0 = 14.5$  MBq и средней энергией электронов  $\langle E \rangle = 0.536$  MeV. Все измерения проводились при комнатной температуре.

Обнаружено влияние  $\beta$ -облучения на проводимость фуллерита  $C_{60}$ . Так, при флюенсе  $F > 2 \cdot 10^9 \text{ cm}^{-2}$  проводимость увеличивается на величину до 55%. Зависи-

мость относительного увеличения тока  $\Delta I/I$  от времени облучения  $t$  характеризуется насыщением, возникающим через  $t_{s1} \sim 12$  min после начала облучения (см. рисунок). После прекращения облучения ток релаксирует за  $t_{r1} \sim 1$  h до первоначального значения. При повторном облучении той же поверхности образца через 20 h проводимость возрастает до 120%. При этом времена насыщения и релаксации составляют  $t_{s2} \sim 9$  min и  $t_{r2} \sim 1$  h соответственно.

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 в результате первичного акта ионизации электрон проводимости обладает достаточной энергией для дальнейшей ионизации молекул  $C_{60}$ . Оценим увеличение тока в



Зависимость увеличения тока  $\Delta I$  от времени облучения  $t$  (флюенса  $F$ ). 1 — первичное облучение, 2 — повторное облучение через 20 h. Стрелками показаны моменты начала и прекращения  $\beta$ -облучения.

этом случае:  $\Delta I = A_0 e k \langle E \rangle / E_0 \sim 0.3 \cdot 10^{-8}$  А, где  $e = 1.6 \cdot 10^{-19}$  С — заряд электрона,  $E_0 \sim 20$  eV — энергия, заведомо большая энергии ионизации молекулы фуллерена,  $k = 0.05$  — коэффициент, учитывающий долю частиц, падающих на образец, от полного числа испускаемых источником. Видно, что рассчитанная величина лежит в пределах экспериментальных значений  $\Delta I = 10^{-8} - 10^{-9}$  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  $\beta$ -облучения новые радиационные дефекты, которые также являются ловушками свободных носителей заряда. При этом в начале  $\beta$ -экспозиции одновременно происходят генерация центров захвата и их заполнение, а после прекращения экспозиции — термическое опустошение ловушек. Большее увеличение тока при повторном облучении можно объяснить оставшимися после первого облучения радиационными дефектами. Определение положения глубоких уровней и природы радиационных дефектов в монокристаллах  $C_{60}$  требует дальнейшего исследования.

## Список литературы

- [1] В.А. Козлов, В.В. Козловский. ФТП **35**, 7, 769 (2001).
- [2] L.F. Zhakarencov, V.V. Kozlovski. In: Semiconductor Technology: Processing and Novel Fabrication Techniques. John Wiley & Song, Inc., N. Y. (1997). 165 p.
- [3] В.И. Трефилов, Д.В. Шур, Б.П. Тарасов, Ю.М. Шульга, А.В. Черногоренко, В.К. Пищук, С.Ю. Загинайченко. Фуллерены — основы материалов будущего. АДЕФ, Киев (2001). 143 с.
- [4] Ю.С. Гордеев, В.М. Микушин, В.В. Шнитов. ФТТ **42**, 2, 371 (2000).