

ИК-фотопроводимость монокристаллов фуллерена C_{60}

© Е.В. Коровкин, Р.К. Николаев

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

E-mail: korovkin@issp.ac.ru

(Поступила в Редакцию 6 августа 1998 г.)

В монокристалле фуллерена C_{60} высокого качества исследовалась фотопроводимость в диапазоне 0.3–0.9 eV. Сделан вывод, что исследуемый кристалл представляет собой несобственный полупроводник.

Фотопроводимость фуллеренов исследовалась обычно в области собственного поглощения 1.5–2.5 eV для установления основных параметров зонной структуры как на тонких пленках [1], так и на монокристаллах [2] при сравнительно высоких ($T > 120$ K) температурах. В данной работе исследовалась фотопроводимость в ИК-диапазоне (0.3–0.9 eV) в номинально чистых монокристаллах высокого качества для обнаружения и изучения энергетических уровней, создаваемых собственными дефектами кристалла или типичными, существующими даже в "номинально чистом" кристалле, примесями. Использовался метод, разработанный для исследования фотопроводимости диэлектриков и примененный авторами ранее для изучения фотопроводимости окрашенных ЦГК [3,4].

Монокристалл C_{60} выращивался из паровой фазы в запаянной, вакуумированной, кварцевой ампуле из сырья, содержащего не менее 99.95% C_{60} . Образец неправильной формы размером около $2 \times 2 \times 6$ mm³ помещался между обкладками конденсатора, включенного в замкнутую цепь, состоящую из источника постоянного напряжения, собственно конденсатора и электрометра. Напряжение, создаваемое от источника — 50–500 V, амплитуда токов, регистрируемая электрометром, составляла 10–0.1 pA. В качестве источника монохроматического света использовался спектрофотометр ИКС-21.

Спектральная зависимость ИК-фотопроводимости и зависимость этих спектров от температуры в диапазоне 10–160 K представлены на рис. 1. Как сам спектр, так и величина фотопроводимости сильно зависят от температуры. Поскольку фотопроводимость при 160 K примерно в 200 раз больше, чем при 10 K, спектры представлены в произвольном масштабе и со сдвижкой по вертикальной оси (указана на рисунке слева для каждого спектра). Из приведенных спектров видно, что спектр состоит из отдельных пиков, амплитуда которых растет с температурой, причем максимум общего спектра сдвигается с ростом температуры в сторону больших энергий так, что при $T > 110$ K выходит за пределы исследуемого диапазона. Это означает, что либо амплитуда более коротковолновых пиков растет быстрее, либо, если они имеют одинаковую температурную зависимость, имеется пик фотопроводимости со стороны больших энергий за пределом исследуемого диапазона, рост амплитуды которого и (или), быть может,

уширение которого с ростом температуры приводит к тому, что длинноволновый склон этого пика выдвигается в исследуемый диапазон и, суммируясь с имеющимися здесь пиками, дает наблюдаемый эффект.

Была предпринята попытка выделить из общего спектра отдельные пики около 650 и 900 meV для определения энергии активации, ответственной за их температурный рост. Из приведенных спектров видно, что кроме пиков около 650 и 900 meV имеется также пик около 500 meV. Поскольку материал используемой в ИКС-21 призмы из фторида лития содержит в области 450–550 meV серию узких пиков поглощения из-за содержания в нем гидроксильных групп, учет интенсивности светового пучка в этом диапазоне ненадежен. Поэтому для дальнейшей обработки использованы данные только из диапазона 550–1000 meV и проведена оптимальная подгонка из предположения существования трех пиков: около 650 meV, около 900 meV и за пределом исследуемого диапазона.

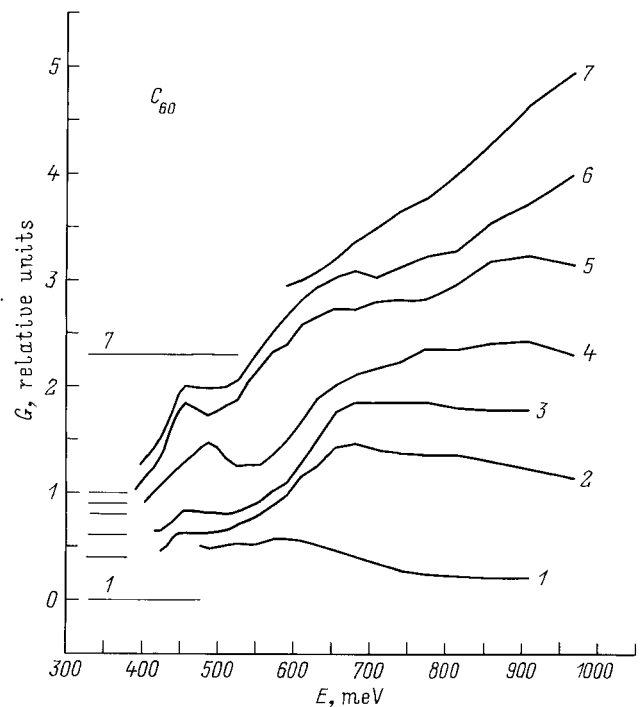


Рис. 1. Спектр ИК-фотопроводимости монокристалла C_{60} для разных температур: 1 — 10 K, 2 — 30 K, 3 — 60 K, 4 — 80 K, 5 — 100 K, 6 — 120 K, 7 — 150 K.

двумя диапазонами около 1200 meV. Амплитуда пиков, их полуширина и точное положение в первом цикле рассматривались как подгоночные параметры. Во втором цикле подгонки положение и полуширина пиков 650 и 900 meV аппроксимировались линейной зависимостью от температуры, полученной на основе данных первого цикла. При этом положение первого пика оказалось практически не зависящим от температуры и составило 665 meV (865–905 meV для второго пика). Полученные температурные зависимости амплитуды обоих пиков представлены на рис. 2. Энергии активации оказались равными 5.6 meV для первого и 7 meV для второго пиков. Надежность полученных оценок не велика, несомненно только то, что обе эти величины лежат в интервале 5–10 meV.

Далее было обнаружено, что начиная с $T = 120$ К наблюдается темновой ток, который резко возрастал с дальнейшим повышением температуры (рис. 3). Энергия активации этого процесса 165 meV.

Из полученных данных следует, что исследуемый кристалл фуллерена представляет собой несобственный полупроводник. Если предположить (только для определенности), что проводимость его электронная, то энергию активации 165 meV можно связать с глубиной залегания уровня Ферми от дна зоны проводимости. Положение отдельных пиков в спектре фотопроводимости следует связать с глубиной залегания соответствующих этим пикам донорных уровней (по-видимому, не следует ожи-

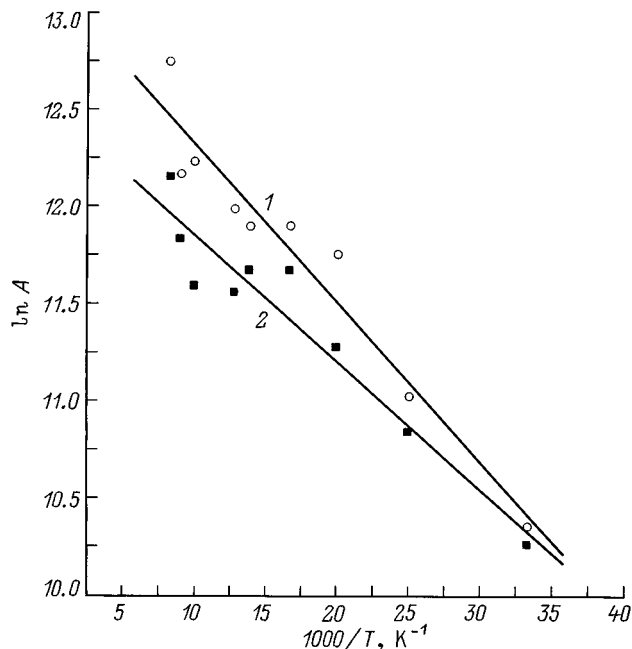


Рис. 2. Зависимость амплитуды пиков ИК-фотопроводимости (1 — 885 meV и 2 — 665 meV) от температуры.

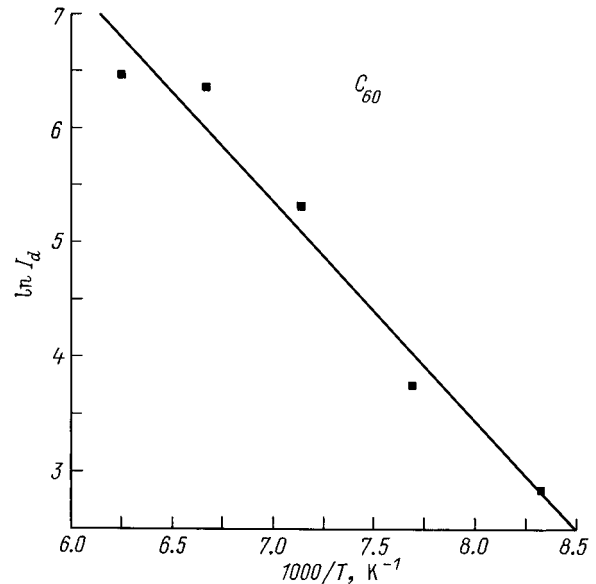


Рис. 3. Зависимость темнового тока от температуры.

дать в этом кристалле больших величин решеточной релаксации). Энергию активации 5–10 meV можно связать с условиями транспорта электрона проводимости, например с глубиной залегания уровней центров прилипания или с нерегулярной модуляцией дна зоны проводимости из-за небольших, но многочисленных собственных дефектов, например из-за разориентации отдельных молекул C_{60} . В этом случае следует ожидать, что для любых пиков эта энергия активации будет одна и та же.

Если же предположить, что донорные центры, ответственные за обнаруженные пики фотопроводимости, кроме основного состояния имеют возбужденное состояние, находящееся не глубоко под дном зоны проводимости, то тогда процесс фотоионизации будет идти в два этапа — переход в возбужденное состояние под действием света и дальнейшая ионизация под действием температуры. В этом случае энергию активации 5–10 meV можно связать с глубиной залегания возбужденных состояний, и тогда для разных пиков эта энергия, вообще говоря, будет различной. Разумеется, возможен и смешанный случай, когда одни донорные центры будут иметь такие возбужденные уровни, а другие нет.

Список литературы

- [1] C.H. Lee, G. Yu, D. Moses, V.J. Srdanov, X. Wei, Z.V. Vardeny. Phys. Rev. **B48**, 11, 8506 (1993).
- [2] S. Matsuura, T. Ishiguro, K. Kikuchi, Y. Achiba. Phys. Rev. **B51**, 15, 10 216 (1995).
- [3] Е.В. Коровкин, Т.А. Лебедкина. ФТТ **29**, 9, 2807 (1987).
- [4] Е.В. Коровкин, Т.А. Лебедкина. ФТТ **37**, 11, 3536 (1995).