

05;12

## Влияние добавок фуллерена $C_{60}$ на теплопроводность пленок из полиметилметакрилата

© Т.Х. Салихов, С.Х. Табаров, Д. Рашидов,  
Ш. Туйчиев, А. Хуссейн

Таджикский национальный университет, Душанбе, Таджикистан  
Кохатский университет науки и технологии, KUST, 26000 Кохат, Пакистан  
E-mail: t\_salikhov@ Rambler.ru

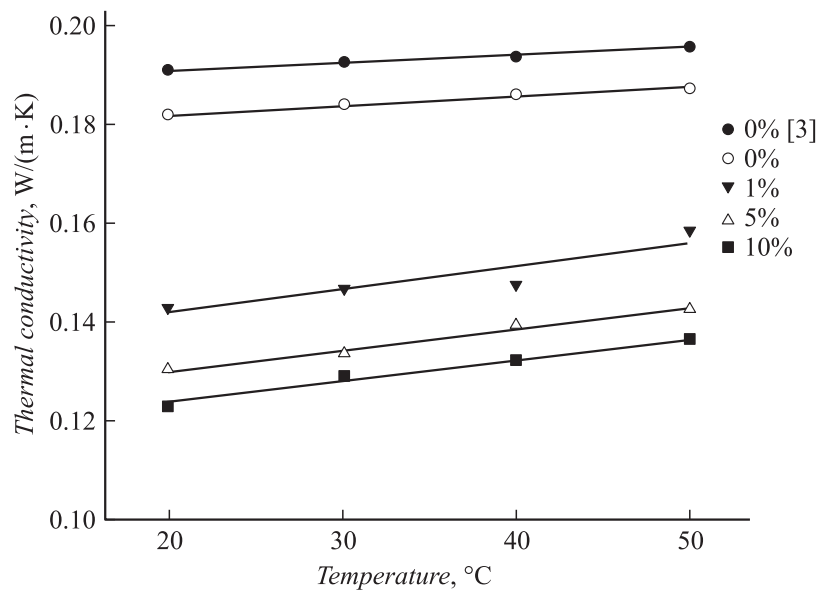
В окончательной редакции 21 мая 2009 г.

Проведено измерение теплопроводности нанокompозита ПММА– $C_{60}$  и обнаружено существенное уменьшение уже при малых значениях концентрации фуллерена. Считается, что основной причиной спада теплопроводности данного композита является уменьшение длины свободного пробега фононов, обусловленное увеличением степени неоднородности образца и ростом числа центров рассеяния.

PACS: 82.35.Lr

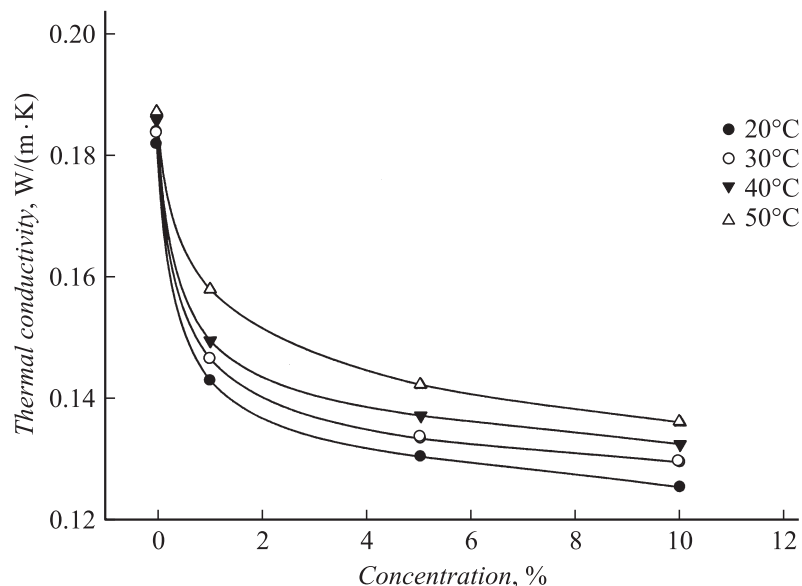
Ранее [1] нами было исследовано влияние добавок фуллерена  $C_{60}$  на механические свойства пленочных образцов полиметилметакрилата (ПММА). Было обнаружено, что уже при 1%-м содержании фуллерена происходит пятикратное увеличение прочности и двукратное увеличение модуля упругости исследованного композита. Очевидно, что такое резкое улучшение механических характеристик существенно расширяет возможности применения этого нанокompозита. Однако также очевидно, что при проектировании производства того или иного изделия необходима оптимизация теплового режима и требуется знание теплофизических свойств объекта. Целью настоящей работы является экспериментальное изучение температурной и концентрационной зависимости коэффициента теплопроводности фуллеренсодержащего ПММА.

В качестве полимерной матрицы нами использовался атактический ПММА с молекулярной массой  $M_{[η]} = 85\,000$ . В качестве добавки использовали фуллерен чистотой 99.97%, полученный методом Кречмера–Хуфмана [2]. Фуллеренсодержащие пленки толщиной поряд-



**Рис. 1.** Температурная зависимость теплопроводности нанокompозита PMMA–C<sub>60</sub> при различных значениях концентрации.

ка  $100\ \mu\text{m}$  получали из смеси растворов C<sub>60</sub> и ПММА в толуоле, а затем подвергались предварительной сушке при  $80^\circ\text{C}$  в течение 24 h. Масс-спектрометрическое тестирование показало отсутствие иммобилизованного растворителя в полученных пленках. Концентрация фуллерепа C<sub>60</sub> в готовых образцах пленок ПММА варьировалась в пределах 0–10 mass%. Измерение теплопроводности производили на цифровой экспериментальной установке QTM-500 компании Kyoto Electronics (Япония), в которой реализована методика „горячей нити“ (hot wire), что позволяет с высокой точностью (ошибка измерения не более 3%) производить измерение теплопроводности низко теплопроводящих систем. Образцы изготавливались в виде прямоугольника сечением  $5 \times 12\ \text{cm}^2$ , что соответствует требованиям инструкции установки. В качестве нагревателя использовался цифровой термостат фирмы Meritte (Германия), точность термостатирования которого составляет



**Рис. 2.** Концентрационная зависимость теплопроводности нанокompозита PMMA- $C_{60}$  при различных значениях температуры.

один градус. Измерения величины теплопроводности для исследуемых образцов проводили в температурном диапазоне 20–50°C.

На рис. 1 представлены температурные зависимости коэффициента теплопроводности  $\lambda$  для образцов с различным содержанием фуллерена  $C_{60}$ . Видно, что с ростом температуры величина  $\lambda$  для всех без исключения образцов медленно растёт. Подчеркнем, что результаты наших измерений для чистого ПММА систематически на 3–4% ниже результатов прецизионных измерений [3]. Это незначительное отличие, по-видимому, обусловлено технологией приготовления образцов.

Концентрационная зависимость теплопроводности исследованных образцов иллюстрирована на рис. 2. Видно, что уже при 1% концентрации фуллерена происходит спад теплопроводности на 20%. При последующем росте содержания  $C_{60}$  в пленках происходит замедление темпа спада величины  $\lambda$ . С учетом того, что при температуре 20°C для  $C_{60}$  величина  $\lambda = 0.4 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$  [4,5], что в два раза больше, чем значение

$\lambda = 0.19 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$  [3] для чистого ПММА, можно предположить, что концентрационная зависимость теплопроводности исследованного нанокompозита проходит через минимум и при больших концентрациях фуллерена она будет асимптотически стремиться к теплопроводности чистого фуллерена. Очевидно, что такое поведение имеет место и при других температурах.

Для объяснения причины спада  $\lambda$  с ростом концентрации фуллерена воспользуемся известным выражением  $\lambda = \frac{1}{3} C_V u_s l$ , где  $C_V$  — эффективная теплоемкость единицы объема,  $u_s$  и  $l$  — скорости распространения и длина свободного пробега фононов соответственно. Очевидно, что величины  $C_V$  и  $u_s$  при малых концентрациях фуллерена существенно не меняются. Следовательно, основной причиной спада величины теплопроводности исследованных образцов является уменьшение длины пробега фононов, обусловленное увеличением степени неоднородности системы и ростом числа центров рассеяния.

Работа выполнена в рамках проекта МНЦТ-1145 и плана НИР Таджикского национального университета.

## Список литературы

- [1] Гинзбург Б.М., Табаров С.Х., Туйчиев Ш., Шепелевский А.А. // Письма в ЖТФ. 2007. Т. 33. В. 23. С. 43–50.
- [2] Krättschmer W., Huffman D.R. // Phil. Trans. Roy. Soc. London. A. 1993. V. 343. N 1667. P. 33–38.
- [3] Assael M.J., Botsion S., Gialou K., Netaxa I.N. // Int. J. Thermophysics. 2005. V. 26. N 5. P. 1595–1605.
- [4] Tea N.H., Yu R.C., Salamon M.B., Lorents D.C., Malhotra R., Ruaff R.S. // Appl. Phys. A. Solids and Surfaces. 1993. V. 56. P. 219–225.
- [5] Раков Э.Г. Нанотрубки и фуллерены. М.: Физматкнига, 2006. 374 с.