

Формирование полимеров при совместном осаждении ионов и молекул C60

Г. В. Нечаев¹, В. Е. Пуха¹, Е. Н. Кабачков¹,
И. И. Ходос²

¹ИПХФ РАН, Черноголовка, Россия
²ИПТМ РАН, Черноголовка, Россия

Введение

Углеродные покрытия, обладающие эффектом самозалечивания и динамической твердостью, открывают новые возможности для создания трибологических систем и защитных покрытий на различных материалах. Эффект самозалечивания для таких покрытий наблюдается в достаточно широком диапазоне соотношения концентраций молекул и ионов фуллерена (N_i/N_m) при нанесении [1]. Кроме того, покрытие может обладать различными механическими свойствами в зависимости от соотношения N_i/N_m . К сожалению, в литературе пока отсутствует информация о структуре таких пленок и покрытий, полученных при различных соотношениях молекул и ионов фуллерена. Также отсутствуют какие-либо данные о взаимосвязи между структурой покрытия, динамической твердостью и эффектом самозалечивания.

[1] Penkov, Oleksiy V., et al. "Self-healing phenomenon and dynamic hardness of C₆₀-based nanocomposite coatings." *Nano letters* 14. 5 (2014): 2536-2540.

Трансмиссионная электронная микроскопия

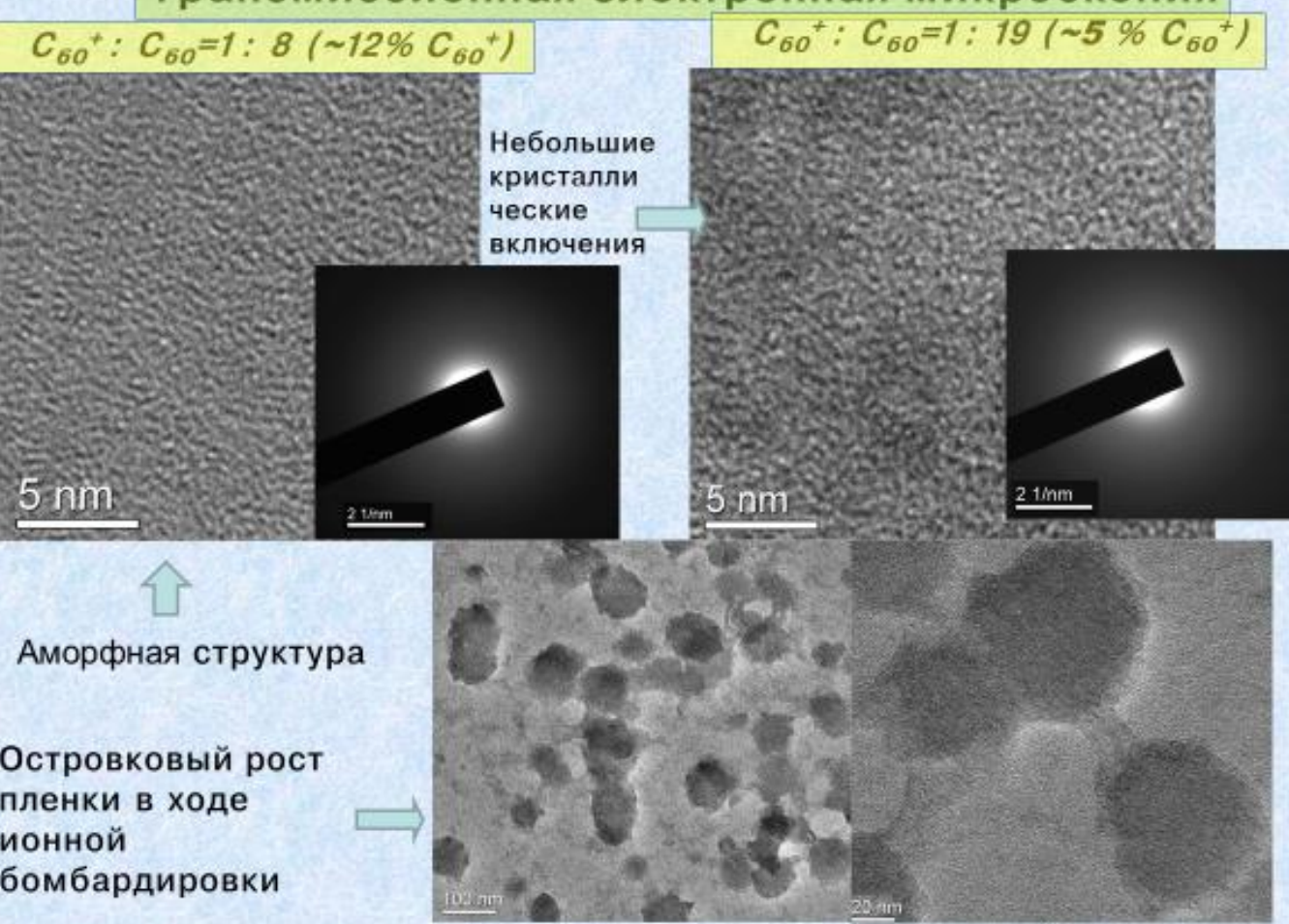
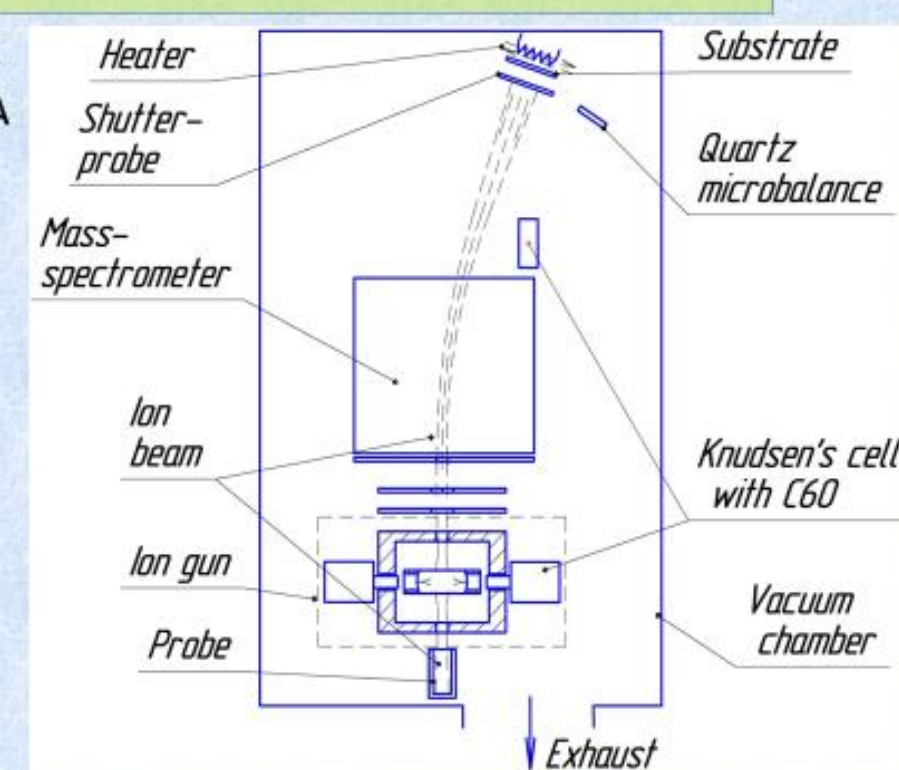


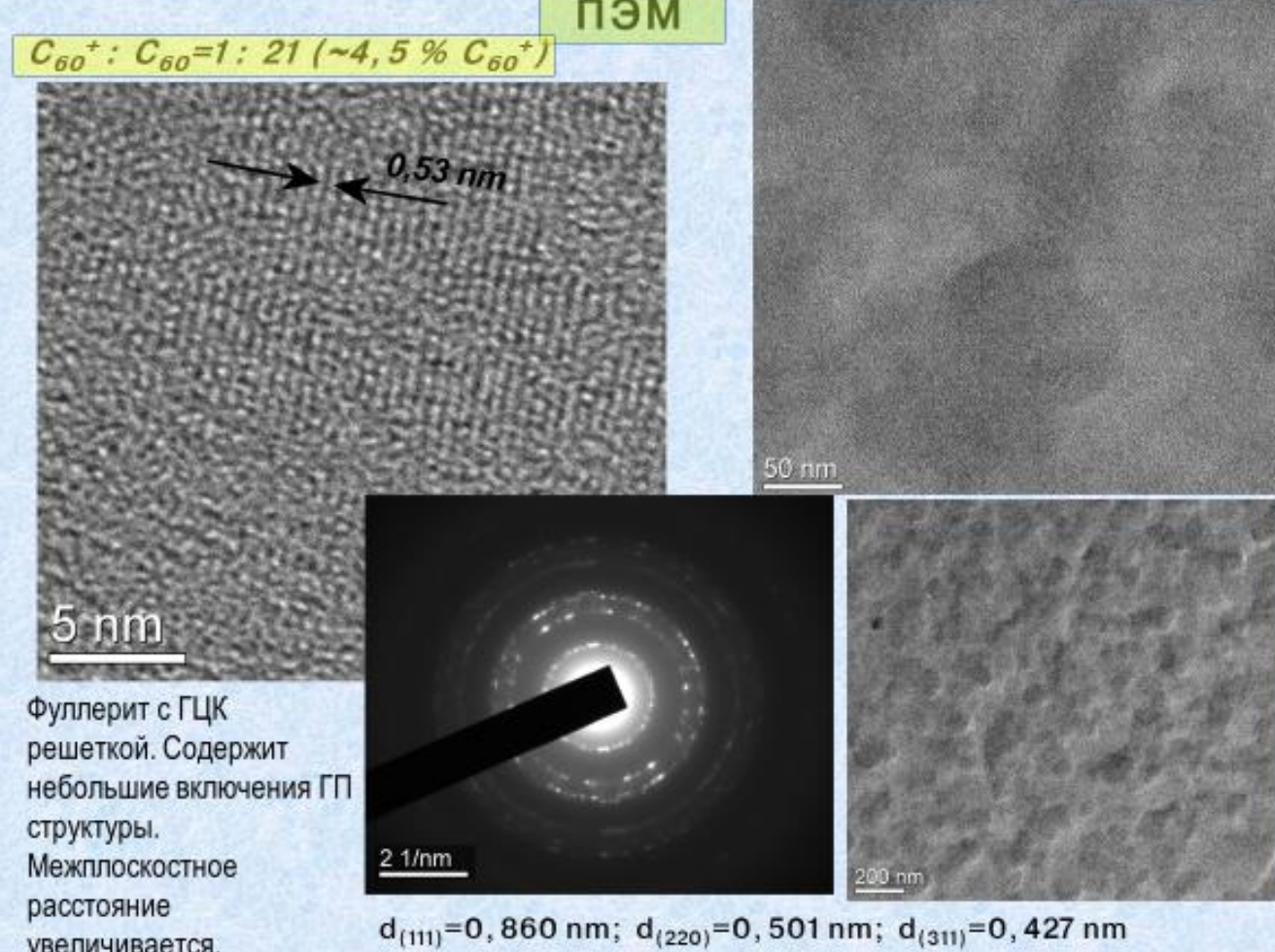
Схема установки для осаждения пленок

$P_b = 2 \cdot 10^{-8}$ Торр
 $IC_{C60^+} = 0.1-15$ мкА
 $E_{C60^+} = 5$ кэВ
 $T_s = 200^\circ\text{C}$

Применялись различные соотношения молекул и ионов (N_i/N_m), в диапазоне концентраций ионов C_{60^+} 1 – 12, 5%

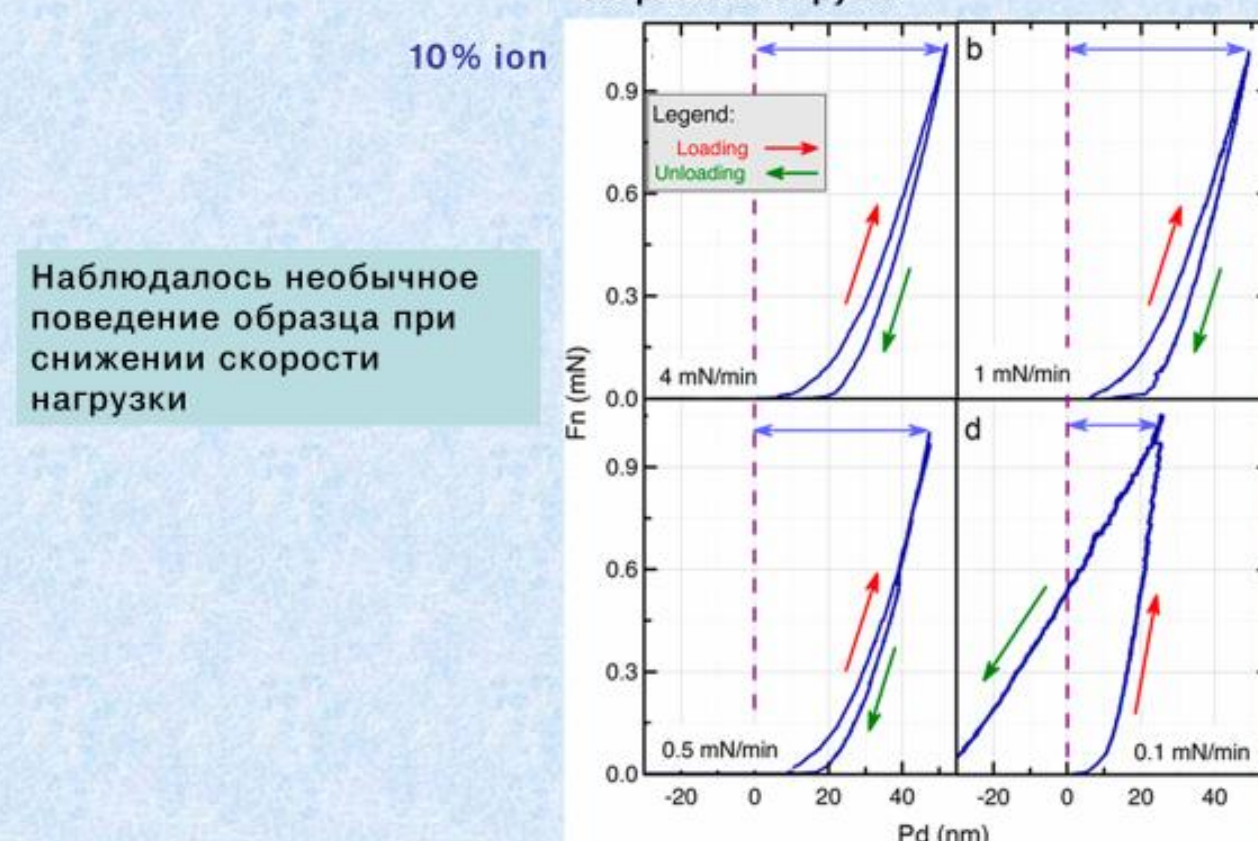


ПЭМ



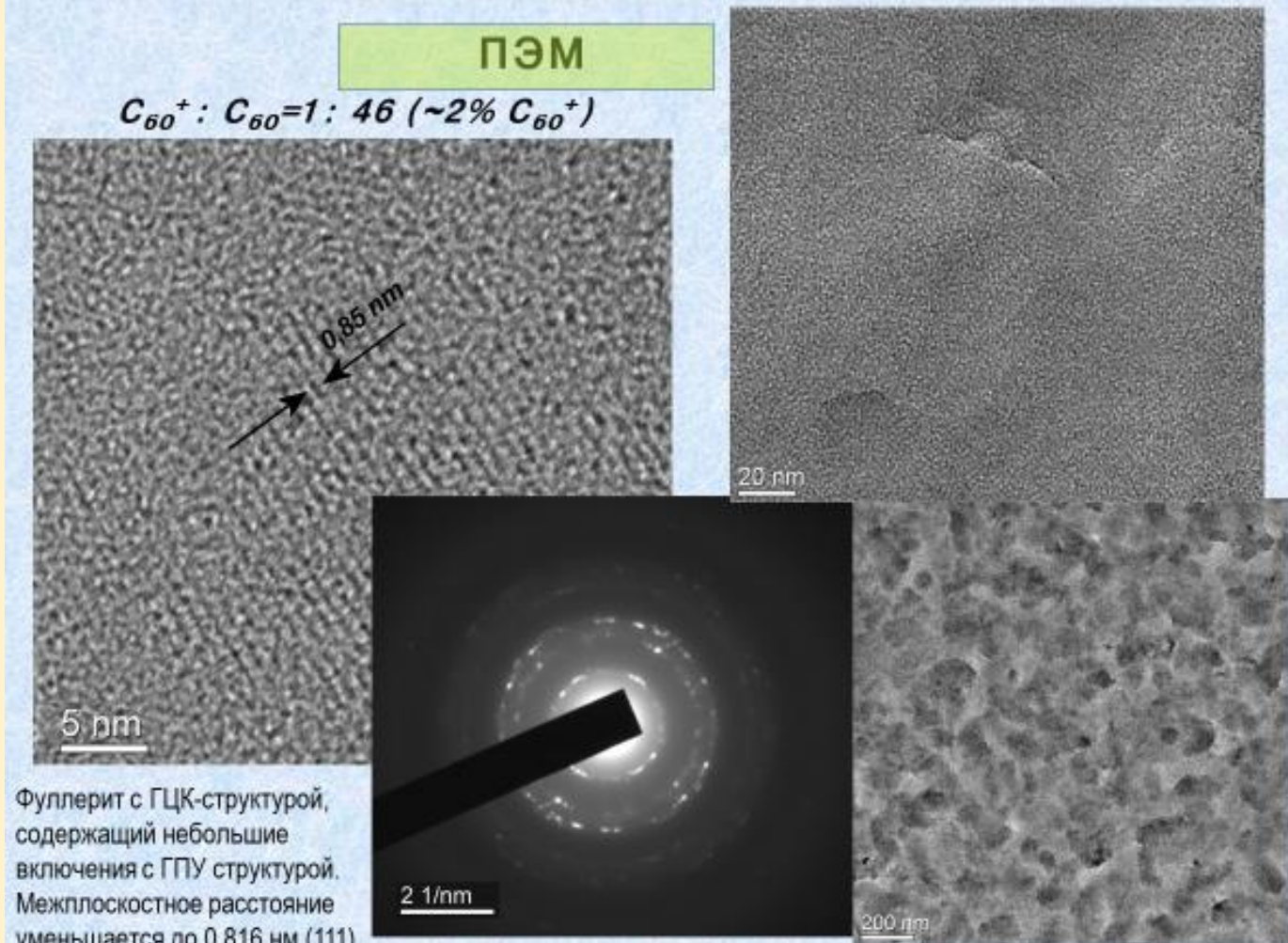
Эффект самозалечивания

Индентационные кривые с различной скоростью нагрузки



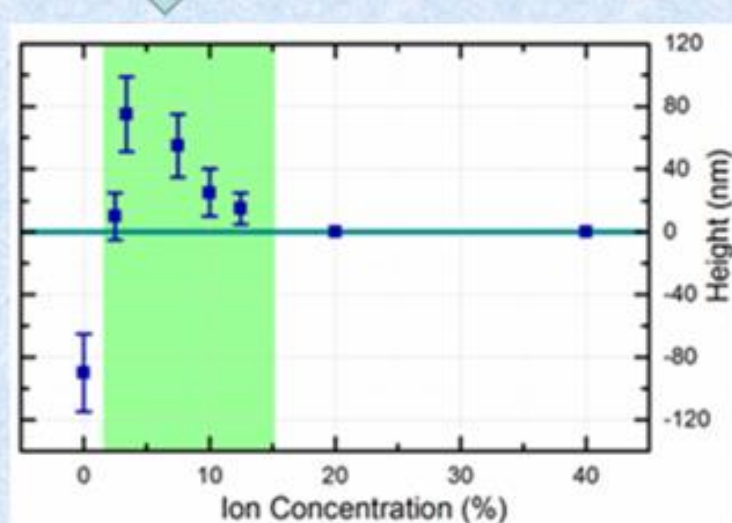
Наблюдалось необычное поведение образца при снижении скорости нагрузки

ПЭМ



Эффект самозалечивания

Диапазон концентраций, при которых наблюдается эффект [1]



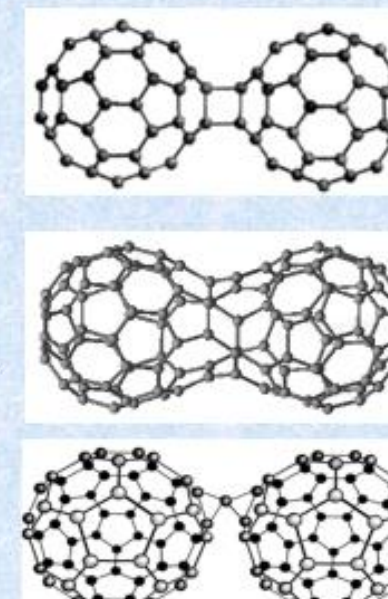
Образование протрузий наблюдалось при концентрациях ионов фуллерена 1–15%

С другой стороны, структура пленок меняется с аморфной на кристаллическую в том же диапазоне концентраций. Поэтому можно предположить, что эффект самозалечивания связан не со структурой пленки, а обусловлен природой химических связей между молекулами.

Эффект бомбардировки ускоренными ионами C60 в процессе роста фуллереновой пленки из молекулярного пучка

Образование различных межмолекулярных связей между молекулами фуллерита (полимеризация фуллерена):

1. Кросс-сочетание молекул (механизм 2+2 - циклоприсоединения)
2. Полимеры в форме гантели (Peanut-shaped)
3. «Химический эффект» - сшивка через мостиковый атом углерода



Молекулярное моделирование[2] показало, что молекула фуллерена при распаде может образовывать до 60 реакционноспособных радикалов. Число образуемых межмолекулярных связей составляет 75 и 95 для энергий 2, 5 и 5 кэВ соответственно.

[2] Czerwinski B., Delcorte A. The Journal of Physical Chemistry C. - 2013. -V. 117. - № 7. - С. 3595-3604.

[1] Penkov, Oleksiy V., et al. "Self-healing phenomenon and dynamic hardness of C₆₀-based nanocomposite coatings." *Nano letters* 14. 5 (2014): 2536-2540.

Выводы

- Покрытия в диапазоне концентраций C_{60^+} 1 – 12, 5% обладают различной нанокомпозитной структурой, которая в большой степени зависит от соотношения концентраций ионов и молекул C_{60} в процессе осаждения.
- Покрытия обладают динамической твердостью, причем эффективное значение твердости в значительной мере зависит от скорости индентирования.
- Эффект самозалечивания и динамическая твердость обусловлены обратимыми процессами полимеризации и деполимеризации фуллереновых молекул под воздействием нагрузки.