

ОБРАЗОВАНИЕ ЖИДКИХ И ТВЕРДЫХ НАНОАЛМАЗОВ В ЛУКООБРАЗНЫХ УГЛЕРОДНЫХ СТРУКТУРАХ

Корниенко Н.Е.⁽¹⁾, Рудь А.Д.⁽²⁾

⁽¹⁾ Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко, просп. Глушкова 6,
nikkorn@mail.univ.kiev.ua

⁽²⁾ Институт металлофизики им. Г.В. Курдюмова НАН Украины, бул. Вернадского, 36
rualdim@rambler.ru

Особенностью плавления графита есть наличие особой точки ($T_{m0} \approx 4900$ К, $P_{m0} \approx 50$ кбар), где dP/dT изменяет знак и имеет сингулярность. При $P > P_{m0}$ это соответствует изменению типа связей $sp^2 \rightarrow sp^3$ и образованию алмазоподобного жидкого состояния. При этом объем вещества ΔV уменьшается, а плотность возрастает, что соответствует соотношению Клаузиуса–Клапейрона $dP/dT = Q/(T_m \Delta V)$, которое формально связывает фундаментальные микроскопические величины с наблюдаемыми макроскопическими параметрами. Точка (T_{m0} , P_{m0}) является тройной точкой для графита и двух жидких фаз с sp^2 и sp^3 гибридизацией. В наноструктурах, в том числе в лукообразном углероде (ЛОУ) значения T_{m0} и P_{m0} существенно изменяются и образование жидких и твердых нанодиазмов происходит без использования внешнего давления и высоких температур.

Образцы ЛОУ получались путем электрических разрядов в жидких или газообразных углеводородах (C_6H_6 , C_6H_{12} , $C_{12}H_{26}$ и др.) [1]. В больших образцах ЛОУ с 30-50 графитофуллереновыми оболочками расстояние между внешними слоями $\sim 0,35$ нм, а для центральной области оно уменьшается до 0,22 нм [2]. Это указывает на существование громадного внутреннего самосжатия. Наличие самосжатия в ЛОУ подтверждается сменой отрицательного ангармонизма для обертона D моды в спектре комбинационного рассеяния (КР) $\Delta\nu = \nu(2D) - 2\nu(D) < 0$ на положительную величину $\Delta\nu > 0$. Это характеризует усиление химических связей в колебательно возбужденных состояниях. На основе сдвига $\sim 0,29$ $cm^{-1}/kbar$ при приложении давления полос алмаза $\nu_D \approx 1330$ cm^{-1} в спектрах КР сделана оценка внутреннего давления в ЛОУ ~ 550 кбар.

Возбуждение высших колебательных состояний происходит в результате нелинейного резонансного взаимодействия колебательных мод. Колебательные обертоны и суммарные тоны приближаются к электронным состояниям и эффективно взаимодействуют с ними. Силь-

ные колебательно-электронные взаимодействия (КЭВ) [3,4] приводят к изменению электронных состояний и химических связей, что является ключевым для внутреннего самосжатия, аномального роста нелинейности и колебательной неравновесности, как аналога высоких Т.

С использованием спектроскопии КР доказано, что сначала образуется жидкое алмазоподобное ядро с широкой линией КР $\nu_D \approx 1300$ cm^{-1} . Это подтверждается наблюдением серии обертонов низкочастотных колебаний формы жидкой наноклапты, а также размытыми изображениями центральных ядер в электронной микроскопии при четких изображениях фуллереновых оболочек ЛОУ. С ростом жидкого алмаза в нем формируется твердый нанодиазм, что подтверждается появлением резкой линии ν_D в спектре КР, которая наблюдается совместно с более широкой. Наблюдение двух спектральных компонент графитовой G полосы $\nu_G > \nu_{G0} = 1582$ cm^{-1} и $\nu_G < \nu_{G0}$ соответствует сжатым и растянутым графитоподобным состояниям. Образование внутренних нанодиазмов в ЛОУ связано также с рядом колебательных резонансов графито- и алмазоподобных колебательных мод.

1. A.D. Rud, N.I. Kuskova, L.I. Ivaschuk, L.Z. Boguslavskii and A.E. Perekos, in: M.M. Rahman (Ed.), Nanomaterials, InTech, Rijeka, 2011, pp. 99-116,
2. Anke Krueger, Carbon Materials and Nanotechnology, WILEY-VCH Verlag GmbH, Weinheim, 2010.
3. N. E. Kornienko, N. P. Kulish, S. A. Alekseev, O. P. Dmitrenko, and E. L. Pavlenko, Optics and Spectroscopy, 2010, Vol. 109, No. 5, pp. 742–752.
4. Корниенко Н.Е., Григорук В.И., Корниенко А.Н., Сборник докладов Международной научной конференции Актуальные проблемы физики твердого тела, 2011 г., Минск, т.1. с.26-28.