

Проводятся исследования нетрадиционного синтеза алмазов в отсутствие металлического растворителя.

Изучался рост алмазов в двойных системах C-B, C-Sn. В системе C-B были получены легированные бором сверхпроводящие алмазы, с критической температурой 4 К [1]. Синтез в системе C-Sn позволяет получить центры окраски SnV [2]. Использование органических прекурсоров позволяет получить наноалмазы менее 10 нм, с возможностью контролирования размера наночастиц [3]. Было показано, что наличие галогенов в составе исходного соединения может существенно понизить условия синтеза [4]. Так, синтез из фторированных адамантанов происходит при рекордно низких условиях 5 ГПа и 400 °С, что соответствует условиям земной коры [5]. При выборе органических прекурсоров, содержащих Si или Ge, могут образоваться наноалмазы, содержащие центры окраски SiV, GeV [6]. Использование борабицикло[3.3.1]нонан димера позволяет получить сильно легированные бором наноалмазы, которые могут быть использованы в термотерапии раковых клеток [7].

Другое направление - синтез почти моноатомных слоев дихалькогенидов переходных металлов [8].

Статьи

[1] Ekimov, E. A., Sidorov, V. A., Bauer, E. D., Mel'Nik, N. N., Curro, N. J., Thompson, J. D., & Stishov, S. M. (2004). Superconductivity in diamond. *Nature*, 428(6982), 542-545.

[2] Ekimov, E.A., Lyapin, S.G., Kondrin, M.V., 2018b. Tin-vacancy color centers in micro- and polycrystalline diamonds synthesized at high pressures. *Diam. Relat. Mater.* 87, 223–227.

[3] Ekimov, E. A., Kudryavtsev, O. S., Mordvinova, N. E., Lebedev, O. I., & Vlasov, I. I. (2018). High-pressure synthesis of nanodiamonds from adamantane: myth or reality?. *ChemNanoMat*, 4(3), 269-273.

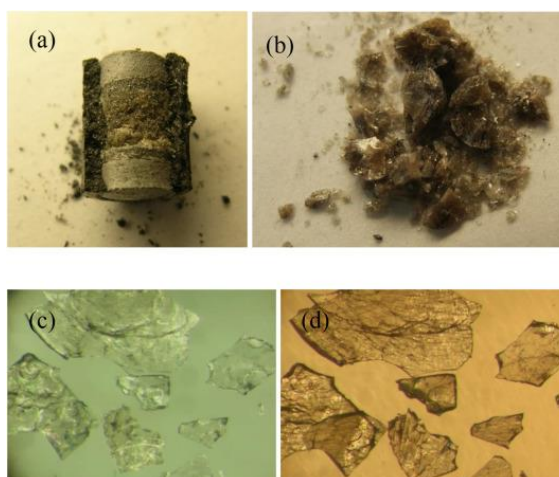
[4] Ekimov, E. A., Lyapin, S. G., Grigoriev, Y. V., Zibrov, I. P., & Kondrina, K. M. (2019). Size-controllable synthesis of ultrasmall diamonds from halogenated adamantanes at high static pressure. *Carbon*, 150, 436-438.

[5] Ekimov, E. A., Shiryayev, A. A., Sidorov, V. A., Grigoriev, Y. V., Averin, A. A., & Kondrin, M. V. (2023). Synthesis and properties of nanodiamonds produced by HPHT carbonization of 1-fluoroadamantane. *Diamond and Related Materials*, 136, 109907.

[6] Ekimov, E. A., Kondrin, M. V., Lyapin, S. G., Grigoriev, Y. V., Razgulov, A. A., Krivobok, V. S., ... & Stelmakh, S. (2020). High-pressure synthesis and optical properties of nanodiamonds obtained from halogenated adamantanes. *Diamond and Related Materials*, 103, 107718.

[7] Vervalde, A. M., Burikov, S. A., Scherbakov, A. M., Kudryavtsev, O. S., Kalyagina, N. A., Vlasov, I. I., ... & Dolenko, T. A. (2020). Boron-doped nanodiamonds as anticancer agents: En route to hyperthermia/thermoablation therapy. *ACS Biomaterials Science & Engineering*, 6(8), 4446-4453.

[8] Ekimov, E. A., Nikolaev, S. N., Ivanova, A. G., Sidorov, V. A., Shiryayev, A. A., Usmanov, I. I., ... & Krivobok, V. S. (2023). Structural, optical and transport properties of layered europium disulfide synthesized under high pressure. *CrystEngComm*, 25(19), 2966-2978.



Наноалмазы, полученные из $C_{10}H_{15}Cl$ [6].

COLLOIDAL SUSPENSION OF HEAVILY BORON-DOPED NANODIAMONDS

Boron-doped nanodiamonds (B-ND) are synthesized in heterohydrocarbon system under HPHT conditions, providing a high doping level up to 10^{21} cm^{-3} . Estimation of boron concentration was performed with use of Raman tool [1]. The product is cleaned by boiling in mixture of sulfuric and nitric acids (3:1), then washed with water to produce solution with PH 2.5-5. Typical concentration of nanodiamonds in water is about 1 mg/ml (Fig. 1a). The basic proposed product has average crystal size of 4-5 nm, similar to that for detonation nanodiamonds. DLS spectra collected after ultrasonication procedure demonstrates a small fraction of agglomerates more than 100 nm (Fig 1f). Electrokinetic potential is about -40 mV, characteristic for stable suspension (Fig. 1e). The suspension remains stable for several months. Morphology of nanodiamonds is demonstrated in the Fig. 1b. The synthesis technology makes it possible to produce nanodiamonds with a mean crystal size ranging from about 2 to 30 nm by varying time and temperature of HPHT process. Synthesis in the hetero-hydrocarbon system provides production of nanodiamonds free of metallic and nitrogen impurities (Fig. 1c).

Boron-doped nanodiamonds can be used in electrochemistry, medicine, inkjet printing of sensors, and as seeds for growing CVD diamond films doped with boron.

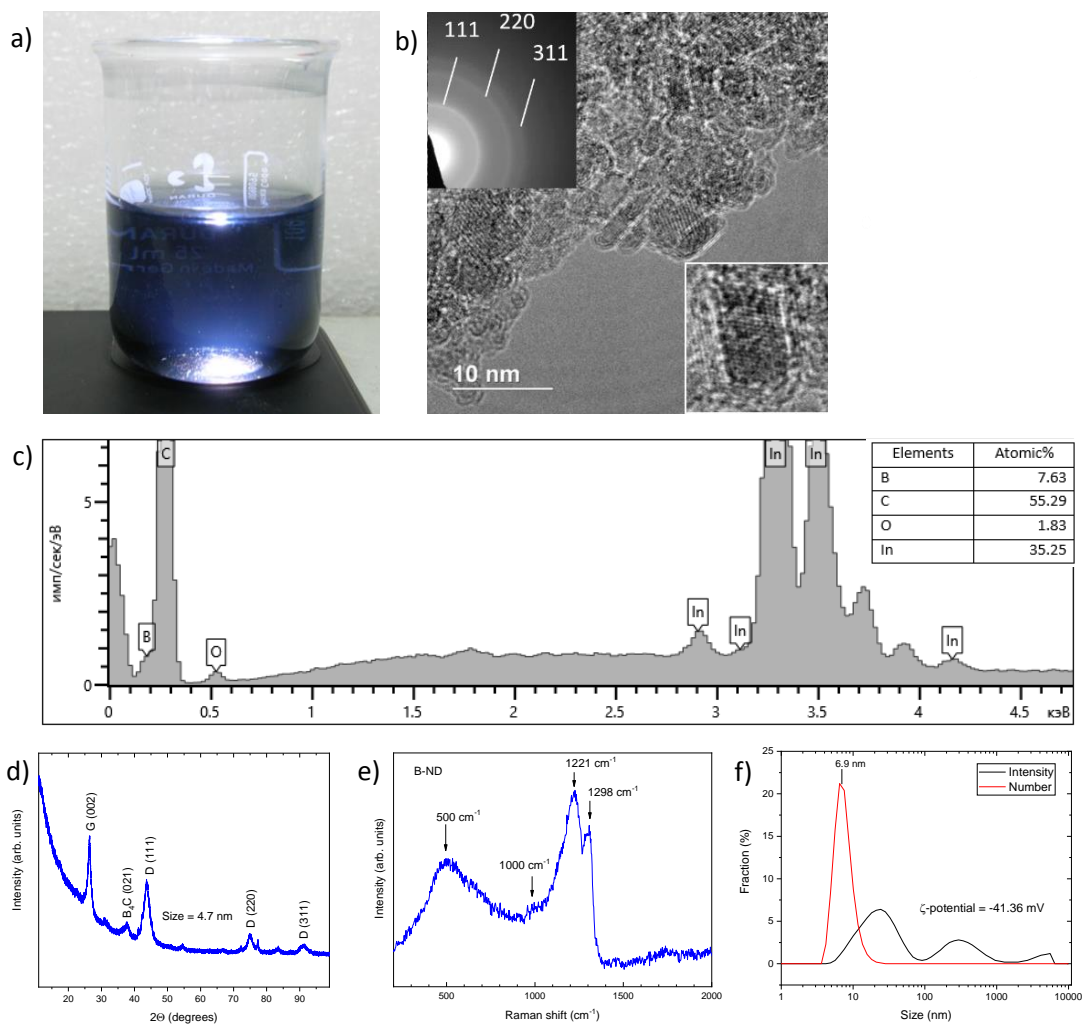


Fig. 1. a) Colloidal solution of B-ND in water, b) TEM image of B-ND with electron diffraction pattern, c) EDX analysis of synthesized product placed on the Indium plate, d) X-Ray diffraction pattern of synthesized product, e) Raman spectrum of cleaned and dried B-ND, f) DLS spectra of B-ND in water.

[1] ramantool.pythonanywhere.com