

## Углеродные каркасные наноматериалы на основе углеродных нанотрубок и графена для электроники и биоэлектроники

Куксин А.В.<sup>1</sup>, Мурашко Д.Т.<sup>1</sup>, Савельев М.С.<sup>1,2</sup>, Герасименко А.Ю.<sup>1,2</sup>

*gerasimenko@bms.zone*

<sup>1</sup> Национальный исследовательский университет «МИЭТ», Москва, Зеленоград, Россия

<sup>2</sup> Первый МГМУ имени И.М. Сеченова, Москва, Россия

В последнее время наиболее остро встала проблема несоответствия современным требованиям электронных кремниевых технологий и несовместимости традиционной диагностической и терапевтической электроники с биологическими тканями организма. К основным перспективным материалам для современной электроники являются аллотропные формы нанокремния - нанотрубки и графен, структурные свойства которых обеспечивают управляемые электрофизические, оптические и механические свойства [1]. Обе формы нанокремния способны выдерживать высокие плотности тока  $\sim 10^9$  А/см<sup>2</sup>, высокую теплопроводность на уровне 5300 Вт/м·К и обладают высокой прочностью и жёсткостью (модуль Юнга 1,0 ТПа, предел прочности 130 ГПа). Такие характеристики углеродных нанотрубок и графена делают их многообещающими кандидатами не только для функциональных компонентов твердотельной электроники, но и для создания гибких тонкопленочных транзисторов, электропроводников, накопителей энергии, которые превосходят кремниевую электронику или дополняют ее.

На основе выявленных особенностей взаимодействия углеродных нанотрубок и графена с лазерным излучением предложен новый подход к изготовлению кремниевых электронных и биоэлектронных устройств. Подход базируется на том, что одномерные и двумерные углеродные наноматериалы, к которым относятся углеродные нанотрубки и графен, за счёт малого размера и особенной структуры в виде моноатомных слоёв с ковалентно связанными атомами в гексагональные кольца имеют высокую степень удельной поверхности при значительной гибкости и прочности, а также могут проявлять полупроводниковые или металлические свойства с высокой подвижностью заряда и управляемой электропроводностью. Такими же свойствами может быть наделён трёхмерный биосовместимый материал на основе сконструированных наноструктур из углеродных нанотрубок, графена и их гибридов в полимерной или биополимерной матрице. Лазерное излучение стимулирует образование контактов между нанотрубками и графен-нанотрубных контактов, что приводит к созданию новых электропроводящих конструкций для полевых автоэмиссионных катодов, межсоединений с различными топологиями для интегральных схем, тензодатчиков для детектирования движений, интерфейсов для электростимуляции роста клеток и электропроводящих тканеинженерных конструкций [2-6].

Работа выполнена в рамках государственного задания Минобрнауки России (Проект FSMR-2024-0003).

### Ссылки

1. S. Pyo, Y. Eun, J. Sim, K. Kim and J. Choi. *Micro and Nano Systems Letters* (2022) 10.
2. A.Yu. Gerasimenko, A.V. Kuksin, Y. P. Shaman, et al. *Nanomaterials* (2022) 12, 2812.
3. M. M. Slepchenkov, A. Yu. Gerasimenko, A. V. Kuksin, et al. *Diamond and Related Materials* (2023), 140, 110512.
4. N. A. Nikitina, D. I. Ryabkin, V. V. Suchkova, et al. *Micromachines* (2023), 14, 1106.
5. A. Yu. Gerasimenko, E. Kitsyuk, U. E. Kurilova, et al. *Polymers* (2022), 14, 1866
6. A. Yu. Gerasimenko, U. E. Kurilova, M. S. Savelyev, D. T. Murashko and O. E. Glukhova. *Composite Structures* (2021), 260, 113517