

**Экранирование электрического поля углеродных нанотрубок
или наностержней из оксида цинка вследствие их взаимного влияния***С. В. Булярский, Г. Г. Гусаров, А. В. Лакалин, Л. И. Матына, С. П. Олейник*

Целью данной работы является сравнение экранирования электрического поля у концов холодных эмиттеров на основе углеродных нанотрубок (УНТ) и наностержней оксида цинка. Были выполнены расчеты напряженности электрического поля одиночного эмиттера, и эмиттера, расположенного в центре массива из 25 одинаковых элементов. Согласно проведенным расчетам, коэффициент усиления поля у концов нанообъектов по сравнению с его средним значением для случая одиночных УНТ в 4 раза больше, чем для одиночных наностержней ZnO. В случае массива нанообъектов коэффициент усиления у конца нанотрубки лишь в 1,5 раза превышает значение такового у конца наностержня, что является результатом экранирующего влияния окружения. При сопоставимости работ выхода из углеродных нанотрубок и наностержней ZnO следует ожидать близких значений плотностей токов эмиссии катодов рассматриваемых нанообъектов. Однако, в силу геометрии, условия теплоотвода для случая наностержней оксида цинка предпочтительней. Следствием этого может быть большая временная стабильность холодных катодов на основе наностержней оксида цинка.

Ключевые слова: углеродные нанотрубки, наностержни, полевая электронная эмиссия, экранирование электрического поля.

Ссылка: Булярский С. В., Гусаров Г. Г., Лакалин А. В., Матына Л. И., Олейник С. П. // Прикладная физика. 2019. № 1. С. 93.

Reference: S. V. Bulyarskiy, G. G. Gusarov, A. V. Lakalin, L. I. Matyna, and S. P. Oleynik, Prikl. Fiz., No. 1, 93 (2019).

Булярский Сергей Викторович¹, г.н.с., д.ф.-м.н.
Гусаров Георгий Геннадьевич¹, с.н.с., к.ф.-м.н.
Лакалин Александр Вячеславович¹, с.н.с., к.ф.-м.н.
Матына Лариса Ивановна², доцент, к.т.н.
Олейник Сергей Павлович², доцент, к.ф.-м.н.

¹ Институт нанотехнологий микроэлектроники РАН.
Россия, 119991, Москва, Ленинский пр-т, 32а.
Тел. +7(499) 616-38-12. E-mail: bulyar2954@mail.ru;
gusarov.g@inme-ras.ru; a.v.lakalin@mail.ru

² НИУ «Московский институт электронной техники» (МИЭТ).
Россия, 124498, Москва, Зеленоград, Площадь Шокина, 1.
Тел. +7(499) 732-02-00.
E-mail: dcei@miee.ru; 0111959sp@mail.ru

Статья поступила в редакцию 24 января 2019 г.

© Булярский С. В., Гусаров Г. Г., Лакалин А. В., Матына Л. И., Олейник С. П., 2019

*Работа выполнена в соответствии
с Планом научно-исследовательской работы
ИНМЭ РАН, проект № 0004-2019-0001.*

ЛИТЕРАТУРА

- Gulyaev Yu. V., Chernozatonskii L. A., Kosakovskaya Z. Ya., Sinitsyn N. I., Torgashov G. V., Zakharchenko Yu. F., Fedorov E. A., Val'chuk V. P. // J. Vac. Sci. Technol. B 1995. Vol. 13. P. 435.
- Chernozatonskii L. A., Gulyaev Yu. V., Kosakovskaya Z. J., Sinitsyn N. I., Torgashov G. V., Zakharchenko Yu. F., Fedorov E. A., Val'chuk V. P. // Chem. Phys. Lett. 1995. Vol. 233. P. 63.
- De Heer W. A., Chatelain A., Ugarte D. // Science. 1995. Vol. 270. P. 1179.
- Mauger M., Vu T. V. // J. Vac. Sci. Technol. B. 2006. Vol. 24. P. 997.
- Matsumoto T., Mimura H. // Appl. Phys. Lett. 2003. Vol. 82. No. 10. P. 1637.
- Saito Y., Uemura S. // Carbon. 2000. Vol. 38. No. 2. P. 169.
- Schmidt-Mende L., MacManus-Driscoll J. L. // Materials Today. 2007. Vol. 10. No. 5. P. 40.
- Cui J. B., Daghlian C. P., Gibson U. J., Püsche R., Geithner P., Ley L. // J. Appl. Phys. 2005. Vol. 97. P. 044315.
- Semet V., ThienBinh Vu., Pauporté Th., Joulaud L., Vermersch F. J. // J. Appl. Phys. 2011. Vol. 109. P. 054301.
- Булярский С. В., Дудин А. А., Лакалин А. В., Орлов А. П., Павлов А. А., Рязанов Р. М., Шаманаев А. А. // Журнал технической физики. 2018. Т. 88. Вып. 6. С. 920.
- Dardona S., Peles A., Wrobel G., Piech M, Pu-Xian Gao // J. Appl. Phys. 2010. Vol. 108. P. 124318.
- Бочаров Г. С., Елецкий А. В. // Журнал технической физики. 2005. Т. 75. Вып. 7. С. 126.
- Булярский С. В., Лакалин А. В., Павлов А. А., Ду-

дин А. А., Кицюк Е. П., Еганова Е. М., Сиротина А. П., Шаманаев А. А. // Письма в ЖТФ. 2017. Т. 43. Вып. 8. С. 3.

14. Булярский С. В., Булярская С. А., Лакалин А. В., Дудин А. А., Орлов А. П., Павлов А. А., Басаев А. С., Кицюк Е. П., Шаманаев А. А., Шаман Ю. П. // Нано-и микросистемная техника. 2015. № 6. С. 3.

15. Ozawa K., Mase K. // Phys. Rev. B. 2011. Vol. 83. No. 12. P. 125406.

PACS: 61.46.Fg+61.46.Hk+79.70.+q

Shielding of the electric field of carbon nanotubes or zinc oxide nanorods due to their mutual influence

S. V. Bulyarskiy¹, G. G. Gusarov¹, A. V. Lakalin¹, L. I. Matyna², and S. P. Oleynik²

¹Institute of Nanotechnology of Microelectronics of the Russian Academy of Sciences (INME RAS)
32A Leninskiy av., Moscow, 119991, Russia
E-mail: bulyar2954@mail.ru; gusarov.g@inme-ras.ru; a.v.lakalin@mail.ru

²National Research University of Electronic Technology (MIET)
1 Shokin Square, Zelenograd, Moscow, 124498, Russia
E-mail: dcei@miec.ru; 0111959sp@mail.ru

Received January 24, 2019

The purpose of the work is to compare the electric field shielding at the ends of cold emitters on the basis of carbon nanotubes and zinc oxide nanorods. Calculations of electric field strength of a single emitter and an emitter located in the center of an array made of 25 identical elements were performed. According to the carried-out calculations, a field intensification coefficient at the ends of nanoobjects in comparison with its mean value for a case of single CNT is 4 times larger than for single nanorod of ZnO. In case of the array of nanoobjects the intensification coefficient at the end of a nanotube exceeds such a value at nanorod end only by 1.5 times that is result of the shielding effect of an environment. As work functions for carbon nanotubes and ZnO nanorods are comparable, one should expect the close values of emission current density for cathodes of nanoobjects under consideration. However, due to geometry, heat sink conditions are more preferable in the case of zinc oxide nanorods. As a consequence, it may be longer temporal stability of cold cathodes on the basis of zinc oxide nanorods.

Keywords: carbon nanotubes, nanorods, electron field emission, electric field shielding.

REFERENCES

1. Yu. V. Gulyaev, L. A. Chernozatonskii, Z. Ya. Kosakovskaya, N. I. Sinityn, G. V. Torgashov, Yu. F. Zakharchenko, E. A. Fedorov, and V. P. Val'chuk, J. Vac. Sci. Technol. B **13**, 234 (1995).
2. L. A. Chernozatonskii, Y. V. Gulyaev, Z. J. Kosakovskaja, N. I. Sinityn, G. V. Torgashov, Yu. F. Zakharchenko, E. A. Fedorov, and V. P. Val'chuk, Chem. Phys. Lett. **233**, 63 (1995).
3. W. A. De Heer, A. Chatelain, and D. Ugarte, Science **270**, 1179 (1995).
4. M. Mauger and T. V. Vu, J. Vac. Sci. Technol. B. **24**, 997 (2006).
5. T. Matsumoto and H. Mimura, Appl. Phys. Lett. **82** (10), 1637 (2003).
6. Y. Saito and S. Uemura, Carbon **38** (2), 169 (2000).
7. L. Schmidt-Mende and J. L. MacManus-Driscoll, Materials Today **10** (5), 40 (2007).
8. J. B. Cui, C. P. Daghlian, U. J. Gibson, R. Püsche, P. Geithner, and L. Ley, J. Appl. Phys. **97**, 044315 (2005).
9. V. Semet, Vu. ThienBinh, Th. Pauporté, L. Joulaud, and F. J. Vermersch, J. Appl. Phys. **109**, 054301 (2011).
10. S. V. Bulyarskiy, A. A. Dudin, A. V. Lakalin, A. P. Orlov, A. A. Pavlov, R. M. Ryazanov, and A. A. Shamaev, Tech. Phys. **63** (6), 894 (2018).
11. S. Dardona, A. Peles, G. Wrobel, M. Piech, and Gao Pu-Xian, J. Appl. Phys. **108**, 124318 (2010).
12. G. S. Bocharov and A. V. Eletsii, Tech. Phys. **50** (7), 944 (2005).
13. S. V. Bulyarskiy, A. V. Lakalin, A. A. Pavlov, A. A. Dudin, E. P. Kitsyuk, E. M. Eganova, A. P. Sirotnina, and A. A. Shamaev, Tech. Phys. Lett. **43** (4), 366 (2017).
14. S. V. Bulyarskiy, S. A. Bulyarskaya, A. V. Lakalin, A. A. Dudin, A. P. Orlov, A. A. Pavlov, A. S. Basayev, E. P. Kitsyuk, A. A. Shamaev, and Yu. P. Shaman, Journal of Nano- and Microsystem Technique **6**, 3 (2015).
15. K. Ozawa and K. Mase, Phys. Rev. B **83** (12), 125406 (2011).