

МЕТАМАТЕРИАЛ ИЗ НАНОРУЛОНОВ ГРАФЕИИ И НИТРИДА БОРА С ОТРИЦАТЕЛЬНОЙ МАГНИТНОЙ ПРОНИЦАЕМОСТЬЮ

А.И. Сягло, Н.А. Поклонский, С.А. Вырко, А.Т. Власов,
С.В. Раткевич, Д.А. Туан, Д.Н. Широкий

Белорусский государственный университет, Минск
E-mail: siahloa@bsu.by

Метаматериалы с отрицательной магнитной проницаемостью $\mu < 0$ в электромагнитном поле рассмотрены в работах [1–3] и представляют собой систему из разомкнутых (расщепленных) колец из проводящего материала (SRRs — *split-ring resonators*) или систему из рулонов из проводящего материала (SRCs — ‘*Swiss roll*’ capacitors).

Системы из SRR или SRC могут вести себя как колебательные LC-контуры и в определенной области частот могут обладать отрицательной магнитной проницаемостью μ . Частотный диапазон можно задавать, меняя форму и геометрические размеры элементов [2, 3]. В работе [1] приведена формула для расчета магнитной проницаемости μ системы из SRCs (см. рис. 1, а).

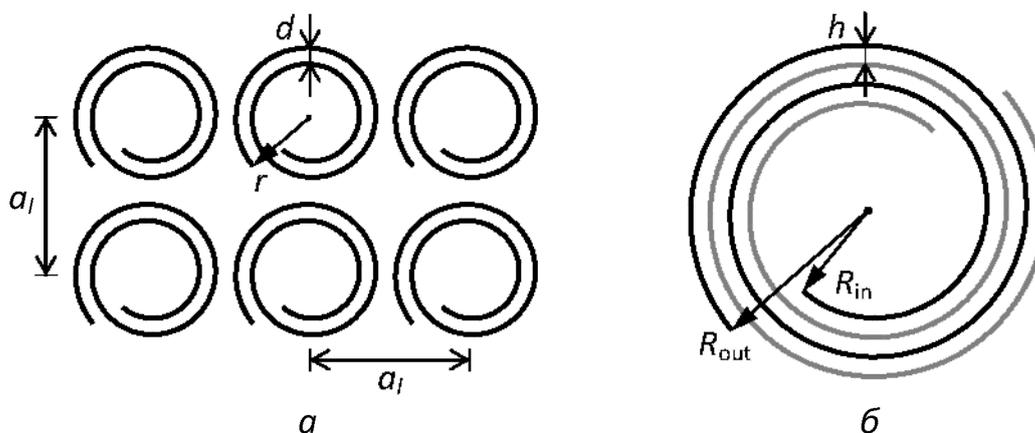


Рис. 1. Поперечное сечение (а) метаматериала с отрицательной магнитной проницаемостью, состоящего из рулонов, расположенных с периодом трансляции a_l и (б) нанорулона, свернутого из двух полосок графена и нитрида бора

В данной работе предложено формировать метаматериал, обладающий $\mu < 0$, из двухслойного рулона, состоящего из полосок графена и нитрида бора: слои из графена являются проводниками электричества, а слои из нитрида бора — изоляторами, разделяющими проводящие слои (рис. 1, б). Ранее было показано, что листы из графена [4] и нитрида бора [5] могут сворачиваться в устойчивые рулоны.

Расчетная (исходя из [4]) зависимость потенциальной энергии E двухслойного нанорулона, образованного из нанополосок графена и нитрида

бора шириной 1 нм и длиной $L = 30$ нм, от внутреннего радиуса нанорулона R_{in} показана на рис. 2, а. Энергия E имеет минимум, соответствующий устойчивому состоянию рулона (при $R_{in} = 1.8$ нм для $L = 30$ нм). В рамках модели [1] нами рассчитана магнитная проницаемость μ метаматериала из двухслойных нанорулонов (рис. 2, б). Показано, что соответствующая $\mu = 0$ частота электромагнитного излучения равна $3.1 \cdot 10^{15}$ Гц для $L = 30$ нм.

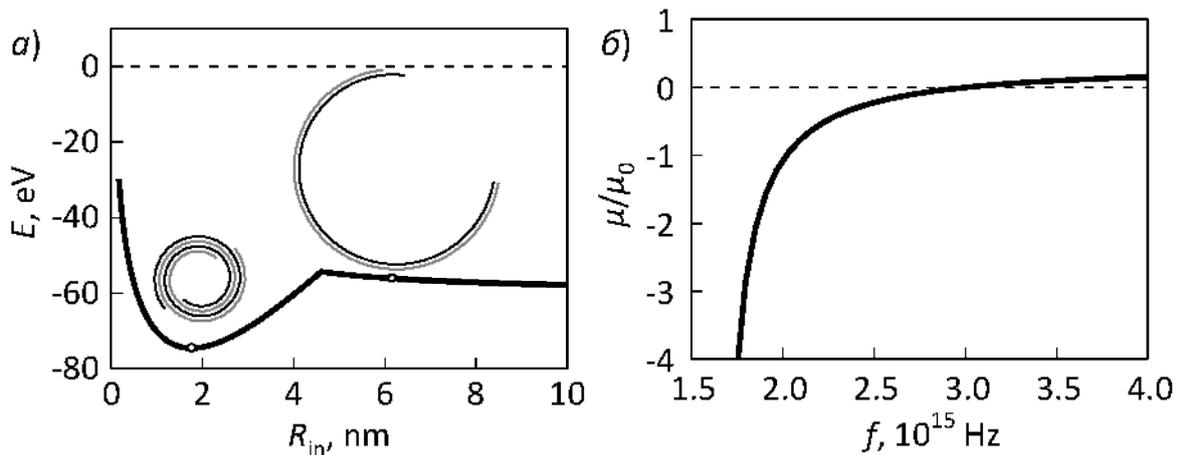


Рис. 2. а) Зависимость потенциальной энергии E двухслойного нанорулона, образованного из нанополосок графена и нитрида бора шириной 1 нм и длиной $L = 30$ нм, от внутреннего радиуса R_{in} нанорулона и б) зависимость магнитной проницаемости метаматериала μ (в единицах магнитной постоянной μ_0) из двухслойных рулонов из полосок графена и нитрида бора длиной $L = 30$ нм

Итак, в работе проанализированы условия, при которых двухслойный лист из графена и нитрида бора может сворачиваться в устойчивый рулон на два оборота. Установлено, что такой двухслойный рулон образуется из полосок графена и нитрида бора длиной 30 нм и в устойчивом состоянии имеет внутренний радиус $R_{in} = 1.8$ нм. Для метаматериала, состоящего из двухслойных нанорулонов, расположенных с периодом $a_l = 2.7$ нм, диапазон частот электромагнитного излучения, при которых магнитная проницаемость такого метаматериала $\mu < 0$, простирается от $1.5 \cdot 10^{15}$ до $3 \cdot 10^{15}$ Гц (длины волн от 0.2 до 0.1 мкм).

1. Pendry J.B., Holden A.J., Robbins D.J., Stewart W.J. // IEEE Trans. Microw. Theory Techn. 1999. V. 47, № 11. P. 2075–2084.
2. Вендик И.Б., Вендик О.Г. // ЖТФ. 2013. Т. 83, № 1. С. 3–28.
3. Слюсар В. // Первая Миля. 2010. № 3–4. С. 44–60.
4. Сягло А.И., Попов А.М., Поклонский Н.А., Лозовик Ю.Е. // Письма в ЖТФ. 2017. Т. 43, № 14. С. 55–63.
5. Mostaani E., Drummond N.D., Fal'ko V.I. // Phys. Rev. Lett. 2015. V. 115, № 11. P. 115501 (5 pp.).