

Расчет многослойных двумерно-периодических дифракционных решеток из графена

Е.В. Головачева, И.Н. Иванова, Е.И. Грибникова, В.В. Махно

Южный федеральный университет, Ростов-на-Дону

Аннотация: Описана актуальность исследования двумерно-периодических графеновых решеток в терагерцовом диапазоне. Приведена исследуемая структура и результаты расчета диаграмм рассеяния и отражения многослойных структур.

Ключевые слова: графен, коэффициент отражения, дифракционные решетки, периодические структуры.

В последнее время в связи с развитием оптики и фотоники актуально использование материалов с новыми свойствами [1]. Одним из таких материалов является графен. Сильные анизотропные связи и низкая масса атома углерода дают графену и родственным материалам уникальные тепловые свойства [2]. Материал также привлекает внимание ученых своими уникальными электронными и фотонными свойствами [3, 4]. Было обнаружено много полезных оптических эффектов графена, таких как хорошая прозрачность, сильная нелинейность, настраиваемость на уровне Ферми, фотоэлектрические эффекты, плазмон и т. д. [5-8], которые привели к демонстрации ряда фотонных устройств на основе графена, т. е. поляризаторов, поглотителей насыщения, модуляторов, переключателей, фотодетекторов, светодиодов и т. д. [9-11]. В последнее время появились теоретические исследования графеновых брэгговских решеток на кремниевых волноводах [12]. Поэтому актуально исследование многослойных дифракционных решеток (ДР), содержащих графен.

Цель работы – исследование многослойных двумерно-периодических ДР, содержащих графен с помощью программы на основе метода объёмного интегрального уравнения ОИУ [13] для диэлектрических и металлических структур.

Объект исследования – двумерно-периодические ДР из графеновых прямоугольников, изображенные на рис. 1. Размер полосок $A \times B$, периоды решетки по осям d_x, d_y , они расположены на поверхности трехслойной подложки.

В статье [14] описан метод исследования двумерно-периодических наноплазмонных планарных структур. Где с помощью метода Галеркина получено строгое решение векторного интегро-дифференциального уравнения (ИДУ) для металлодиэлектрических структур.

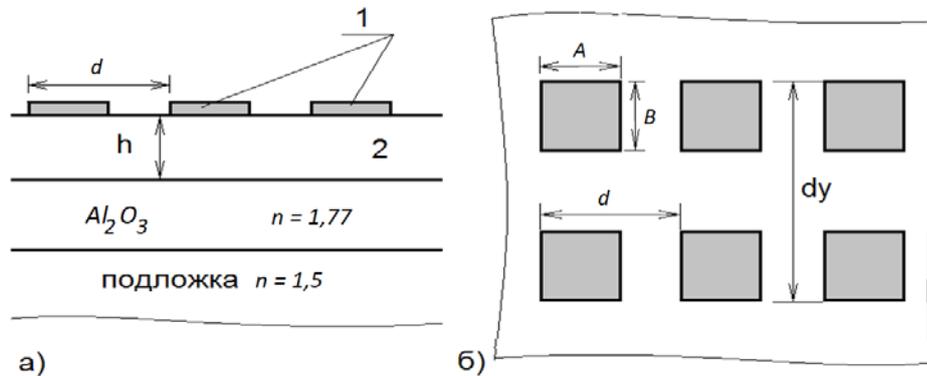


Рис. 1 - Исследуемая структура - ДР из прямоугольников – 1: а) разрез ДР; б) d, d_y - периоды ДР, A, B – размеры графеновых полосок.

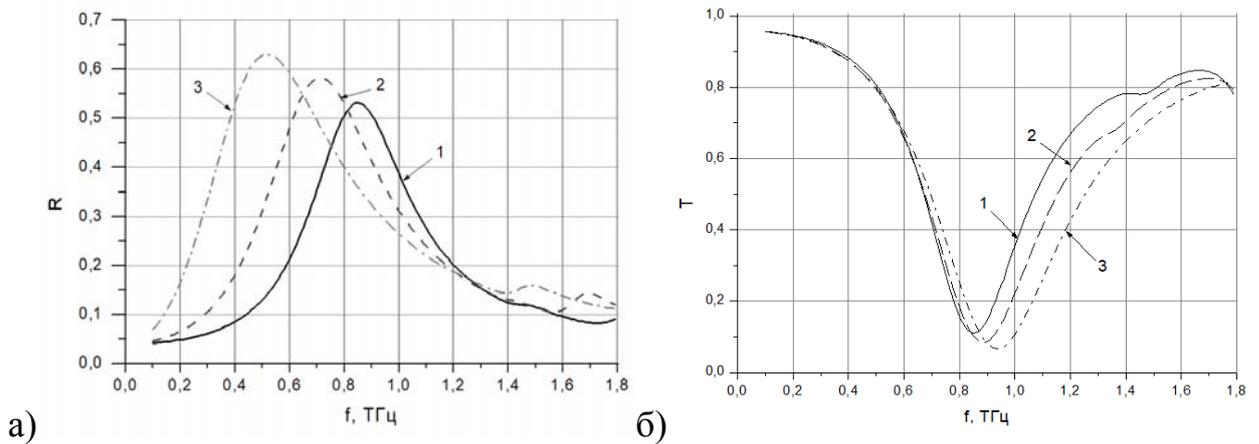


Рис. 2 – Зависимость коэффициента R (а), T (б) от частоты при изменении ширины прямоугольного графена: кривые 1-3 соответствуют: В (а): 50 нм, 60 нм, 70 нм; А (б): 50 нм, 60 нм, 70 нм.

Рассмотрим пример расчета ДР из графеновых полосок с периодом $d=70$ нм, $d_y=70$ нм. Размер прямоугольник из графена 50×50 нм. Для всех рисунков: диэлектрический слой Al_2O_3 толщиной 55 нм, подложка $n = 1,5$. Проведены расчеты коэффициентов R , T , $P = 1 - R - T$ — соответственно коэффициенты отражения, прохождения (по мощности) и потерь.

Как показали расчеты при увеличении размера B графеновых полосок резонансная частота уменьшается. В случае изменения размера A резонансная частота увеличивается.

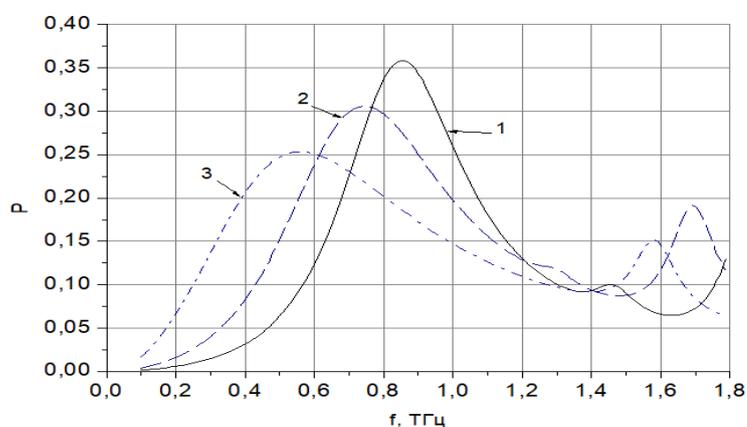


Рис. 3 – Зависимость коэффициента поглощения от частоты при изменении размеров прямоугольной неоднородности из графена: кривые 1-3 соответствуют $A \times B$: 50×50 нм, 60×60 нм, 65×65 нм.

Как видно из рисунка 3 при увеличении размера прямоугольника резонансная частота уменьшается. Моделирование также показало, что изменение толщины подложки, на которой расположены графеновые прямоугольники не влияет на резонансную частоту. Изменение периодов дифракционной решетки приводит к изменению интенсивности поглощения и отражения. Но при этом не оказывают влияние на резонансную частоту.

Частота резонанса зависит от размера пленки, её состава и периодов решетки. Изменяя размер пленок и периоды ДР, можно получить ЭПП в заданном частотном диапазоне.

Выводы

Предложены дифракционные решетки из графена обеспечивают в оптическом диапазоне резонансное поглощение. Изменение толщины подложки, на которой расположены графеновые прямоугольники не влияет на резонансную частоту. Изменение периодов дифракционной решетки приводит к изменению интенсивности поглощения и отражения, но не влияет на резонансную частоту.

Работа выполнена в рамках реализации базовой части госзадания Минобрнауки России 3.5398.2017/8.9.

Литература

1. Лерер А.М., Головачева Е.В., Грибникова Е.И., Иванова И.Н., Махно В.В., Махно П.В. Многослойные двухмерно-периодические поглощающие структуры оптического диапазона // Инженерный вестник Дона, 2017, №4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2017/4528.
2. Pop E., Varshney V., Roy Ajit K. Thermal properties of graphene: Fundamentals and applications. MRS Bulletin, Volume 37, December 2012, pp. 1273-1281.
3. García de Abajo F. J., “Graphene nanophotonics,” Science **339** (6122), 2013, pp. 917–918.
4. Li Z. Q., Henriksen E. A., Jiang Z., Hao Z., Martin M. C., Kim P., Stormer H. L., and Basov D. N., “Dirac charge dynamics in graphene by infrared spectroscopy,” Nat. Phys. **4**(7), 2008, pp. 532–535.
5. Hendry E., Hale P. J., Moger J., Savchenko A. K., and Mikhailov S. A., “Coherent nonlinear optical response of graphene,” Phys. Rev. Lett. **105**(9), 2010, pp. 097401.
6. Wang F., Zhang Y., Tian C., Girit C., Zettl A., Crommie M., and Shen Y. R., “Gate-variable optical transitions in graphene,” Science **320**(5873), 2008, pp. 206–209.

7. Freitag M., Low T., Xia F., and Avouris P., “Photoconductivity of biased graphene,” *Nat. Photonics* **7**(1), 2012, pp. 53–59.

8. Grigorenko A., Polini M., and Novoselov K., “Graphene plasmonics,” *Nat. Photonics* **6**(11), 2012, pp. 749–758.

9. Bao Q., Zhang H., Wang B., Ni Z., Lim C. H. Y. X., Wang Y., Tang D. Y., and Loh K. P., “Broadband graphene polarizer,” *Nat. Photonics* **5**(7), 2011, pp. 411–415.

10. Sun Z., Hasan T., Torrisi F., Popa D., Privitera G., Wang F., Bonaccorso F., Basko D. M., and Ferrari A. C., “Graphene mode-locked ultrafast laser,” *ACS Nano* **4**(2), 2010, pp. 803–810.

11. Liu M., Yin X., Ulin-Avila E., Geng B., Zentgraf T., Ju L., Wang F., and Zhang X., “A graphene-based broadband optical modulator,” *Nature* **474**(7349), 2011, pp. 64–67.

12. Capmany J., Domenech D., and Muñoz P., “Silicon graphene Bragg gratings,” *Opt. Express* **22**(5), 2014, pp. 5283–5290.

13. Лерер А.М., Цветянский Е.А. Теоретическое исследование резонансно поглощающих дифракционных решеток. // Письма в журнал технической физики. 2012. Т.38. вып.21. С.77-81.

14. Лерер А.М., Головачева Е.В., Грибникова Е.И., Иванова И.Н., Клещенков А.Б. Неотражающие оптические решетки на новых плазмонных материалах // Инженерный вестник Дона, 2016, №2 URL: ivdon.ru/magazine/archive/n2y2016/3608.

References

1. Lehrer A.M., Golovacheva E.V., Gribnikova E.I., Ivanova I.N., V.V. Makhno, P.V. Makhno *Inženernyj vestnik Dona (Rus)*, 2017, №4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2017/4528.

2. Pop E., Varshney V., Ajit K. *MRS Bulletin*, and Volume 37, December 2012, pp. 1273-1281.



3. García de Abajo F. J., *Science* **339** (6122), 2013, pp. 917–918.
 4. Li Z. Q., Henriksen E. A., Jiang Z., Hao Z., Martin M. C., Kim P., Stormer H. L., and Basov D. N., *Nat. Phys.* **4** (7), 2008, pp. 532–535.
 5. Hendry E., Hale P. J., Moger J., Savchenko A. K., and Mikhailov S. A., *Phys. Rev. Lett.* **105**(9), 2010, pp. 097401.
 6. Wang F., Zhang Y., Tian C., Girit C., Zettl A., Crommie M., and Shen Y. R., *Science* **320**(5873), 2008, pp. 206–209.
 7. Freitag M., Low T., Xia F., and Avouris P., *Nat. Photonics* **7**(1), 2012, pp. 53–59.
 8. Grigorenko A., Polini M., and Novoselov K., *Nat. Photonics* **6**(11), 2012, pp. 749–758.
 9. Bao Q., Zhang H., Wang B., Ni Z., Lim C. H. Y. X., Wang Y., Tang D. Y., and Loh K. P. *Nat. Photonics* **5**(7), 2011, pp. 411–415.
 10. Sun Z., Hasan T., Torrisi F., Popa D., Privitera G., Wang F., Bonaccorso F., Basko D. M., and Ferrari A. C., *ACS Nano* **4**(2), 2010, pp. 803–810.
 11. Liu M., Yin X., Ulin-Avila E., Geng B., Zentgraf T., Ju L., Wang F., and Zhang X., *Nature* **474**(7349), 2011, pp. 64–67.
 12. Capmany J., Domenech D., and Muñoz P., *Opt. Express* **22**(5), 2014, pp. 5283–5290.
 13. Lerer A.M., Tsvetyansky E.A. *Technical Physics Letters journal*, 2012, V.38. №21. pp. 77-81.
 14. Lehrer A.M., Golovacheva E.V., Gribnikova E.I., Ivanova I.N., Kleshchenkov A.B. *Inženernyj vestnik Dona (Rus)*, 2016, №2. URL: ivdon.ru/magazine/archive/n2y2016/3608.
-