Нанофокусировка терагерцовых плазменных волн в конической структуре на основе графена

Морозов М.Ю., Попов В.В.

Саратовский филиал ИРЭ им. В.А. Котельникова РАН, 410019, Саратов, ул. Зеленая, 38

DOI 10.34077/Semicond2019-233

Замедление плазмон-поляритонов в конических структурах, приводящее к концентрации энергии электромагнитного поля вблизи вершины конической структуры, называемой нанофокусировкой волны, является актуальной задачей и было исследовано в ряде работ [1-2].

Плазменные волны (плазмоны) в графене (двумерном материале с нулевой шириной запрещенной зоны [3]) являются сильно локализованными вблизи графена, вследствие чего востребованы для создания на их основе усилителей терагерцовых (ТГц) плазмонов [4, 5]. Экранировка графена металлом, как было показано [6], дополнительно повышает локализацию поля плазмона вблизи графена.

Настоящая работа посвящена теоретическому изучению нанофокусировки ТГц плазмонов в конической структуре на основе легированного (или смещенного) графена, схематически представленной на рис. 1. Угол раскрытия конуса предполагался малым ($\alpha \leq 5^\circ$).

Показано, что вблизи вершины конической структуры металл - диэлектрик - легированный (смещенный) графен наблюдается резкое возрастание энергии поля плазмона, называемое нанофокусировкой поля плазмона. На рис. 2 представлена плотность энергии плазмона в зависимости от расстояния до вершины конуса. Первоначально плотность энергии плазмона убывает вследствие рассеяния энергии по механизму Друде. Вблизи вершины конической структуры происходит резкое возрастание плотности энергии плазмона. Показано, что нанофокусировка происходит по причине более быстрого замедления плазменной волны по сравнению с уменьшением мощности плазмона в результате Друде потерь.

Так, при фиксированных значениях параметров скорость распространения энергии плазмона v_E уменьшается на длине структуры в несколько раз, в то время как мощность плазмона S в результате Друде рассеяния спадает только на десятки процентов. Как следствие, наблюдается возрастание плотности энергии плазмона, определяемой как [7] $W = S/v_E$, вблизи вершины конической структуры.

Исследование выполнено при поддержке Российского научного фонда (проект № 18-72-00009).

- [1] K. L. Tsakmakidis, A. D. Boardman, O. Hess, *Nature*, **450**, 397 (2007).
- [2] M. I. Stockman, *Phys. Rev. Lett.*, **93**, 137404 (2004).
- [3] K. S. Novoselov, et al., *Nature*, **490**, 192 (2012).
- [4] A. A. Dubinov et al., *J. Phys.: Condens. Matter*, **23**, 145302 (2011).
- [5] V. V. Popov, et al., *Phys. Rev. B*, **86**, 195437 (2012).
- [6] M. Yu. Morozov, et al., *Technical Physics Letters*, **42**, 40 (2016).
- [7] V. V. Shevchenko, *Phys. Usp.*, **50**, 287 (2007).

Рис.1. – Схематическое изображение структуры.

Рис.2. – Плотность энергии плазмона в зависимости от расстояния до вершины конической структуры для различных величин энергии Ферми $E_F = 400 \text{ meV}$ (кривая 1), $E_F = 500 \text{ meV}$ (кривая 2), $E_F = 700 \text{ meV}$ (кривая 3).