

ВОЗМОЖНОСТЬ УСИЛЕНИЯ БЕСКОНЕЧНО МАЛЫХ ВОЛН В ДВУХСЛОЙНОМ ВОЛНОВОДЕ

Головкина М.В.

Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики

наука77@yandex.ru

Обсуждается механизм усиления бесконечно малых волн в метаматериалах с отрицательным значением показателя преломления. Исследуется распространение электромагнитных волн в волноводе, содержащем слой диэлектрика и метаматериала с отрицательным показателем преломления, разделенные тонкой пленкой сверхпроводника второго рода в резистивном состоянии. Рассматривается усиление бесконечно малых волн при частотах ниже частоты отсечки рассматриваемого волновода. Обсуждаются причины усиления бесконечно малых волн.

Искусственные среды, которые могут обладать рядом заранее заданных свойств, не присущих обычным природным материалам, находятся в фокусе внимания исследователей. Особый интерес вызывают искусственные среды или метаматериалы, обладающие отрицательным значением показателя преломления, существование которых было впервые предсказано теоретически в 1967 г. [1] и продемонстрировано экспериментально уже в начале 21 века [2, 3]. На основе таких сред была теоретически разработана концепция линзы, которая может давать разрешение, превышающее предел, налагаемый теорией дифракции [4]. Одной из причин, позволяющих теоретически преодолеть дифракционный предел обычной линзы, является усиление бесконечно малых волн в ограниченном слое метаматериала с отрицательным показателем преломления. Усиление бесконечно малых волн в слое метаматериала было подтверждено экспериментально [5, 6, 7]. Мы в нашей работе рассматриваем возможность усиления бесконечно малых волн в двухслойном волноводе, содержащем комбинацию слоев обычного диэлектрика и метаматериала с отрицательным показателем преломления.

Рассматривается распространение электромагнитных волн в прямоугольном двухслойном волноводе. Один из слоев представляет метаматериал с отрицательным значением показателя преломления ($\epsilon_1 < 0$, $\mu_1 < 0$), второй слой - обычный диэлектрик ($\epsilon_2 > 0$, $\mu_2 > 0$). Слои метаматериала и обычного диэлектрика разделены тонкой пленкой сверхпроводника второго рода, находящейся в постоянном магнитном поле, направленном перпендикулярно поверхности пленки. Магнитное поле проникает в сверхпроводящую пленку в виде решетки вихрей Абрикосова, которая движется со скоростью v под действием транспортного тока, протекающего вдоль пленки [8]. Взаимодействие электромагнитной волны с движущейся решеткой вихрей Абрикосова может привести к усилению электромагнитной волны за счет энергии вихревой структуры [9, 10]. Нами показано, что в том случае, когда поток энергии в слое обычного диэлектрика превышает поток энергии в слое метаматериала с отрицательным показателем преломления, может наблюдаться усиление электромагнитной волны при частотах, ниже частоты отсечки двухслойного волновода. Это усиление обусловлено несколькими эффектами. Во-первых, усилением бесконечно малых волн в ограниченном слое метаматериала, теоретически обоснованным в работе [4]. Во-вторых, усилением за счет взаимодействия электромагнитной волны с движущейся в тонкой пленке сверхпроводника вихревой решеткой. Рассмотренная структура может использоваться для создания управляющих устройств и фильтров для СВЧ и инфракрасного диапазона.

ЛИТЕРАТУРА

1. Веселаго В. Г. Электродинамика веществ с одновременно отрицательными значениями ϵ и μ . // УФН. 1967. Т. 92. № 3. С. 517–526

2. Smith D. R., Padilla W. J., Vier D. C., Nemat-Nasser S. C., Schultz S. Composite medium with simultaneously negative permeability and permittivity. // Phys. Rev. Lett. 2000. Vol. 84. № 18. P.4184–4187.
3. Shelby R. A., Smith D. R., Schultz S. Experimental verification of a negative index of refraction. // Science. 2001. Vol. 292. P.77–79.
4. Pendry J. B. Negative Refraction Makes a Perfect Lens // Phys. Rev. Lett. 2000. Vol. 85, P.3966-3969.
5. Grbic A., Eleftheriades G. V. Overcoming the diffraction limit with a planar left-handed transmission-line lens // Phys. Rev. Lett. 2004. Vol. 92. P.117403-1-117403-4.
6. Fang N., Lee H., Sun C., Zhang X. Sub-diffraction-limited optical imaging with a silver superlens // Science. 2005. Vol. 308. P.534-537.
7. Popa B.-I., Cummer S. A.. Direct measurement of evanescent wave enhancement inside passive metamaterials // Phys. Rev. E. 2006. Vol. 73. P. 016617-1-016617-5.
8. Шмидт В.В. Введение в физику сверхпроводников. М. : Наука. 1982. 240 С.
9. Попков А.Ф. Усиление магнитостатической волны потоком магнитных вихрей в структуре феррит-сверхпроводник. // Письма в ЖТФ. 1989. Т. 15. Вып. 5. С. 9-14.
10. Глущенко А.Г., Головкина М.В. Отражение электромагнитной волны слоистой структурой сверхпроводник - диэлектрик. // Письма в ЖТФ. 1998. Т. 24. Вып. 1. С. 9-12.