

КОМПОЗИТ ИЗ МИКРОПРОВОДА С ОТРИЦАТЕЛЬНОЙ РЕФРАКЦИЕЙ

*Институт прикладной физики АН РМ,
ул. Академией, 5, MD-2028, г. Кишинев, Молдова*

В настоящее время созданы композиционные материалы, имитирующие отрицательные значения действительной части диэлектрической (ϵ') и магнитной (μ') проницаемости, которые представляют собой прямолинейные отрезки проволок и кружочки (с разрезом) [1].

Информация по данной тематике, а также о некоторых возможностях применения этих материалов приведена в [2, 3]. В настоящей работе рассматривается возможность использования аморфного литого магнитного микропровода из определенных сплавов для создания композита с отрицательным значением μ' , и возможность создания композита с одновременно отрицательными значениями μ' и ϵ' .

1. Аномальная область дисперсии μ' (изложенное ниже может быть также справедливо и в отношении ϵ') обычно лежит в области сильного поглощения, когда велика величина μ'' – мнимая часть магнитной проницаемости. Если по каким-то причинам отрицательное значение μ' выходит за области поглощения, электромагнитная волна полностью отражается от такой среды в диапазоне частот, где μ' отрицательна. "Выталкивание поля" связано с тем, что дисперсионное уравнение для волнового вектора k :

$$k^2 = -|\mu|(\omega/c)^2 \quad (1)$$

(здесь $|\mu|$ – абсолютная величина μ') не имеет действительных корней, и множитель $\exp\{i k z\}$ (где z – координата, перпендикулярная к поверхности образца) приводит к затуханию поля. Это аналогично затуханию в скин-слое, но там всегда существенно поглощение энергии, связанное с электронами проводимости (и толщина скин-слоя для металлов обычно на порядок меньше $1/k$).

Устройство, использующее данное свойство, может быть сконструировано в виде объемной решетки из параллельных микропроводов. При падении электромагнитного поля на предлагаемую объемную решетку и поляризации вектора электрического поля вдоль оси микропровода решетка отразит электромагнитное поле в частотном диапазоне вне области поглощения, но в области отрицательной магнитной проницаемости микропровода.

В области, где магнитная проницаемость станет равной нулю (точка ферромагнитного антирезонанса), предлагаемая объемная решетка микропровода будет прозрачна. Так как постоянным магнитным полем можно сдвигать точку антирезонанса, устройство можно использовать как отражательный (или пропускающий) затвор электромагнитного поля. Толщина металлической жилы применяемого аморфного магнитного микропровода должна быть меньше толщины скин-слоя (то есть меньше 1 мкм), чтобы глубина проникновения поля в композит стала порядка $1/k$. Решетка создается с шагом, меньшим четверти длины волны рассматриваемого излучения (для электромагнитного излучения данная решетка может рассматриваться как непрерывная среда). Так как поле должно проникнуть в композит на расстояние порядка длины волны в композите, таких слоев по толщине должно быть не менее четырех, если считать, что расстояние между слоями также порядка четверти длины волны. Используемый эффект возникает только для поляризации электрического поля вдоль микропровода. Для поляризации электрического поля, перпендикулярной оси микропровода, этот эффект не возникает. Это может позволить использовать устройство и как поляризационный фильтр.

2. Для получения микропровода с отрицательной μ' можно предложить два варианта. Такой микропровод, обладающий так называемым гигантским магнитоимпедансным (ГМИ) эффектом,

можно сделать из сплава на основе Co, Fe, Mn, Ni, B, Si. Из теории ГМИ эффекта методом, предложенным в [4], можно получить в частотном диапазоне, лежащем в более высоких частотах от максимума коэффициента поглощения (для рассматриваемых материалов эти частоты могут быть 1 – 6 ГГц) область (данная область экспериментально подтверждена в работе [5]) с отрицательной действительной частью магнитной проницаемости микропровода.

Второй вариант – это использование микропровода на основе сплава из Fe, B, Si, C, Mn (экспериментально исследованного в работе [6]), который имеет естественный ферромагнитный резонанс в диапазоне частот 9–11 ГГц. Ширина поглощения данного провода – узкая, а область с отрицательным значением магнитной проницаемости μ' выходит за кривую поглощения. Физическая причина данных свойств связана с метастабильными фазами, которые образуются в поверхностном слое аморфной жилы микропровода и в которых реализуется естественный ферромагнитный резонанс. Отметим, что второй вариант более предпочтительный, потому что первый связан с особенностью доменной структуры. Есть основания считать, что подобные доменные структуры в тонком микропроводе не реализуются.

3. В случае, когда величины μ' и ε' отрицательны, данный композит также становится прозрачным для электромагнитных волн, но обладает рядом уникальных особенностей [2, 3]. К сожалению, нам известен только способ получения материалов с отрицательной ε' , предложенный в [1], то есть создание электрических диполей. Однако технологически из серебряного и медного микропровода диполи можно создавать, локально разогревая маленькие участки, которые образуют разрыв в жиле микропровода. При этом стеклянная оболочка остается неповрежденной. Одна из физических причин возможности создавать такие разрывы – растягивающие остаточные напряжения, которые всегда существуют в литом микропроводе. Объемная решетка из комбинации двух чередующихся микропроводов (микропровода с отрицательной μ' и микропровода, состоящего из электрических диполей) технически легко реализуется (методом намотки).

Отметим, что данная решетка, когда оба вида микропроводов ориентированы одинаково, при определенной толщине может работать, например, подобно цилиндрической линзе.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Smith D.R. et.al.* Determination of effective permittivity and permeability of metamaterials from reflection and transmission coefficient // *Phys. Rev. B.* 2002. V. 65. P. 195404 (1–5).
2. *Веселаго В.Г.* О формулировке принципа Ферма для света, распространяющегося в веществах с отрицательным преломлением // *УФН.* 2002. Т.172. №10. С. 1215–1218.
3. *Лагарьков А.Н., Кисель В.Н.* Электродинамические свойства простых тел из материалов с отрицательными магнитной и диэлектрической проницаемостями // *ДАН.* 2001. Т. 377. № 1. С. 40–43.
4. *Baranov S.A.* Giant magneto-impedance effect in cast CoMnBSi amorphous microwire covered by glass insulation // *Proceeding of Moscow International Symposium on Magnetism* Ed. A. Granovsky, N. Perov. 1999. V. 2. P. 264–266.
5. *Reynet O., Adenot A.-L., Deprot S., Acher O., Latrach M.* Effect of the magnetic properties of the inclusions on the high-frequency dielectric response of diluted composites // *Phys. Rev. B.* 2002. V.66. P. 094412 (1–9).
6. *Баранов С.А.* Магнитная проницаемость аморфного микропровода в диапазоне сверхвысоких частот // *Радиотехника и электроника.* 2003. Т. 48. № 2. С. 254–256.

Поступила 06.06.03

Summary

A microwire composition with negative refraction in the 1–10 GHz frequency is considered.
