

ПРЕОБРАЗОВАНИЕ ПОЛЯРИЗАЦИИ ГАУССОВОГО ВОЛНОВОГО ПУЧКА НА СЛОЕ ИЗ МЕТАМАТЕРИАЛА

Одаренко Е. Н.¹, Свич В. А.², Шматько А. А.²

¹Харьковский национальный университет радиозлектроники
г. Харьков, пр. Ленина, 14, 61166, Украина
тел.: (057) 7021057; e-mail: oen@kture.kharkov.ua

²Харьковский национальный университет им. В. Н. Каразина
г. Харьков, пл. Свободы, 4, 61077, Украина
тел.: (057) 7075133; e-mail: alexandr.a.shmatko@univer.kharkov.ua

Аннотация — Исследуются поляризационные характеристики гауссового волнового пучка, рассеянного на плоском однородном слое из материала с отрицательным показателем преломления. Показана возможность преобразования заданной поляризации падающего на слой волнового пучка в плоскую и круговую.

I. Введение

Интенсивные теоретические и экспериментальные исследования материальных сред, имеющих отрицательный показатель преломления в определенном частотном диапазоне, обусловлены в первую очередь необычными закономерностями взаимодействия электромагнитного поля с такими структурами. Основные эффекты, связанные с прохождением электромагнитных волн через так называемые «левые» среды, базируются на взаимосвязанных понятиях отрицательной групповой скорости, характерном для обратных волн в периодических структурах, и отрицательного преломления на границе раздела двух сред [1, 2]. Изменение направления распространения преломленных волн за счет изменения знака показателя преломления позволяет разрабатывать новые устройства для управления различными характеристиками электромагнитного излучения. Современный уровень технологий позволяет создавать такие устройства на основе тонкопленочных структур в терагерцовом и оптическом диапазонах. В связи с этим исследование закономерностей взаимодействия разнообразных волновых образований со слоистыми средами, имеющими отрицательный показатель преломления, является актуальным в плане применения в антенной и лазерной технике.

В данной работе рассматривается один из аспек-

тов данной проблемы — преобразование поляризации гауссового волнового пучка, падающего на плоский однородный слой метаматериала с отрицательными значениями материальных параметров.

II. Основная часть

Взаимодействие волновых пучков с электродинамическими системами обычно анализируется на основе спектрального метода Фурье, который позволяет представить волновой пакет в виде суперпозиции плоских волн с определенным спектральным параметром. Таким образом задача сводится к анализу распространения монохроматической плоской волны произвольной поляризации через слой с отрицательным показателем преломления $n = \sqrt{\epsilon\mu}$, который в общем случае может зависеть от частоты. Поскольку амплитуда поля симметричного гауссового пучка изменяется в его поперечном сечении по закону:

$$E \sim \exp\left[-\frac{x^2 + y^2}{w^2}\right],$$

где x, y — поперечные координаты, w — радиус «пятна» поля, то поляризационные параметры также являются функциями координат. В этом смысле можно говорить о преимущественной поляризации волнового пучка, которая определяется доминирующими параксиальными составляющими углового спектра.

Для поля произвольной поляризации достаточно рассмотреть две волны со взаимно-перпендику-

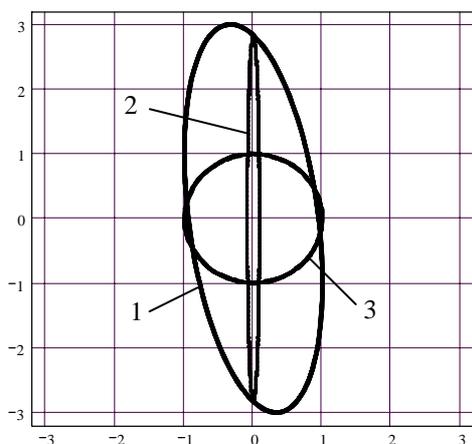


Рис. 1. Эллипсы поляризации в случае исходной эллиптической поляризации.

Fig. 1. Polarization ellipses for initial elliptical polarization

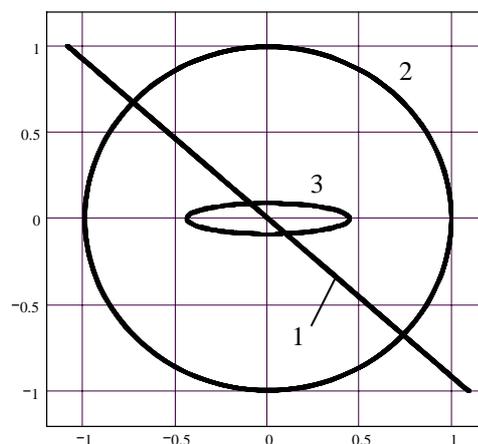


Рис. 2. Эллипсы поляризации в случае исходной плоской поляризации.

Fig. 2. Polarization ellipses for initial plane polarized mode

лярными плоскостями поляризации. Следовательно, в общем случае необходимо учитывать все шесть компонент электромагнитного поля с соответствующими фазовыми сдвигами. Амплитуды плоских парциальных волн в разложении Фурье определяются спектральной плотностью гауссового пучка:

$$F(k_x) = \frac{1}{\cos \varphi} \exp \left[- \left(\frac{\omega k_x}{2 \cos \varphi} \right)^2 \right],$$

где φ — угол падения пучка на плоский слой, k_x — спектральный параметр (поперечное волновое число). Тогда пространственное распределение отраженного или прошедшего через слой поля можно определить через обратное преобразование Фурье:

$$A_{R,T}^{(1,2)} = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} C_{R,T}^{(1,2)}(k_x) F(k_x) \exp(i(k_x x + k_y y)) dk_x,$$

где $A_R^{(1,2)}$ и $A_T^{(1,2)}$ — компоненты отраженного и прошедшего поля для двух взаимно-перпендикулярных поляризаций, $C_R^{(1,2)}$ и $C_T^{(1,2)}$ — комплексные коэффициенты отражения и прохождения через слой для полей данных поляризаций [3].

На рис. 1 представлены результаты расчета поляризационных эллипсов для падающей, отраженной и прошедшей через слой волны (кривые 1 — 3 соответственно). В данном случае эллиптическая поляризация падающего излучения преобразуется при прохождении через слой в круговую, а при отражении — практически в плоскую. Для других наборов параметров системы происходит также преобразование эллиптической поляризации при отражении или прохождении через слой в плоскую или эллиптическую, повернутую относительно исходной.

На рис. 2 поляризационные характеристики представлены для плоской поляризации падающего излучения. Здесь также наблюдается изменение поляризации пучка при рассеянии на слое. Отраженное от слоя излучение имеет круговую поляризацию, причем для данного набора параметров происходит довольно сильное отражение от слоя. Прошедший через слой пучок оказывается поляризованным по эллипсу, главная ось которого расположена перпендикулярно плоскости падения.

Следовательно, синфазные компоненты падающего поля со взаимно-перпендикулярными плоскостями поляризации приобретают фазовый сдвиг при отражении от слоя и прохождении через него.

III. Заключение

Установлены основные закономерности преобразования поляризации гауссового пучка при отражении от слоя с отрицательными материальными параметрами, а также при прохождении через него. Результаты расчетов свидетельствуют о возможности управления поляризационными характеристиками волновых пучков с помощью слоистых структур из метаматериалов.

IV. Список литературы

- [1] Силин Р. А. Электромагнитные волны в искусственных периодических структурах. УФН, 2006, **176**, №10, с. 562 — 565.
- [2] Агранович В. М., Гарштейн Ю. Н. Пространственная дисперсия и отрицательное преломление света. УФН, 2006, **176**, №10, с. 1051 — 1068.
- [3] Бреховских Л. М. Волны в слоистых средах. М.: Наука, 1973, 343 с.

TRANSFORMATION OF GAUSSIAN BEAM POLARIZATION BY METAMATERIAL LAYER

Odarenko E. N., Svich V. A., Smat'ko A. A.
Kharkov National University of Radioelectronics
 14, Lenin Ave., Kharkov, 61166, Ukraine
 Ph.: (057) 7021057
 e-mail: oen@kture.kharkov.ua
 Kharkov National University
 4, Svobody Sq., Kharkov, 61077, Ukraine
 Ph.: (057) 7075133
 e-mail: alexandr.a.shmatko@univer.kharkov.ua

Abstract — Polarization characteristics of the Gaussian beam that scattered on the left-handed material uniform plain layer are investigated. Opportunity of the transformation of the incident wave beam polarization into plane and circular one is shown.

I. Introduction

The intensive theoretical and experimental researches of negative index metamaterials in a particular frequency range are caused by unusual mechanisms of the electromagnetic field interaction with such structures. The main effects that associated with passing of the electromagnetic waves through the so-called "left-handed" media are founded on interdependent concepts of the negative group velocity and negative refraction on the two media interface [1, 2]. The changing of the refracted wave propagation direction due to change of the refraction index sign allows developing new devices for control of the different waves characteristics. The modern level of technologies allows creating such devices on the basis of thin-film structures in terahertz and optical bands. Hence the research of interaction regularities of different wave formations with stratified negative index media is important for application in the antenna and laser technology.

In this report polarization transformation of the Gaussian beam that incident on the plane negative index metamaterial layer is considered.

II. Main Part

The interaction of the wave beams with electrodynamic systems is normally analyzed on the basis of a spectral method of Fourier, which allows presenting a wave packet as a superposition of plane waves. Thus the task is reduced to the analysis of monochromatic plane wave propagation through the negative index layer. Amplitude of the symmetric Gaussian beam field varies in its cross-section under the law:

$$E \sim \exp \left[- \frac{x^2 + y^2}{w^2} \right],$$

where x, y — transversal coordinates, w — beam radius. Hence the polarization parameters also are functions of coordinates. In this sense it is possible to speak about preferential beam polarization which is defined by dominating paraxial components of the angular spectrum.

Fig. 1 shows the polarization ellipses for incident, reflected and transmitted fields (curves 1 — 3 accordingly). In this case elliptic polarization of incident radiation will be converted at passing through the layer in circle one, and at reflection — practically in plane one.

In Fig. 2 polarization characteristics represented for plane polarization of incident radiation. Reflected field has circle polarization and transmitted field has elliptic one.

III. Conclusion

The main regularities of the Gaussian beam polarization transformation are obtained at reflection from the negative index layer and also at passing through it. The calculations results indicate the possibility of the wave beams polarization characteristics control with using of stratified metamaterial structures.