

И.В. Мунина¹, В.Н. Ященко¹, И.Б. Вендик¹, С. Бургермайер²

¹Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет
«ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)

²Университет города Нови Сад, Сербия

Перестраиваемый направленный ответвитель на основе фотонных кристаллов для ТГц диапазона частот

В работе представлена структура перестраиваемого направленного ответвителя на основе двумерного фотонного кристалла. Для осуществления перестройки предложено частичное заполнение отверстий фотонного кристалла жидким кристаллом с значением диэлектрической проницаемости, зависящем от приложенного внешнего напряжения, что позволяет изменять направление распространения электромагнитных волн в направленном ответвителе.

Ключевые слова: фотонный кристалл, направленный ответвитель, жидкие кристаллы

В настоящее время растет интерес к разработке новых устройств для управления распространением волн в оптическом и микроволновом диапазоне на основе фотонных кристаллов [1,2]. Фотонный кристалл (ФК) - это структура, характеризующаяся периодическим изменением значения диэлектрической проницаемости. Для таких структур характерно наличие разрешённых и запрещённых зон для энергии фотонов, обусловленных различием диэлектрической проницаемости используемых материалов. Наличие запрещённых зон делает невозможным распространение электромагнитных волн определённой частоты через ФК. По характеру изменения диэлектрической проницаемости ФК делятся на три основных класса: одномерные (рис. 1-а), двумерные (рис. 1-б) и трёхмерные (рис. 1-в).

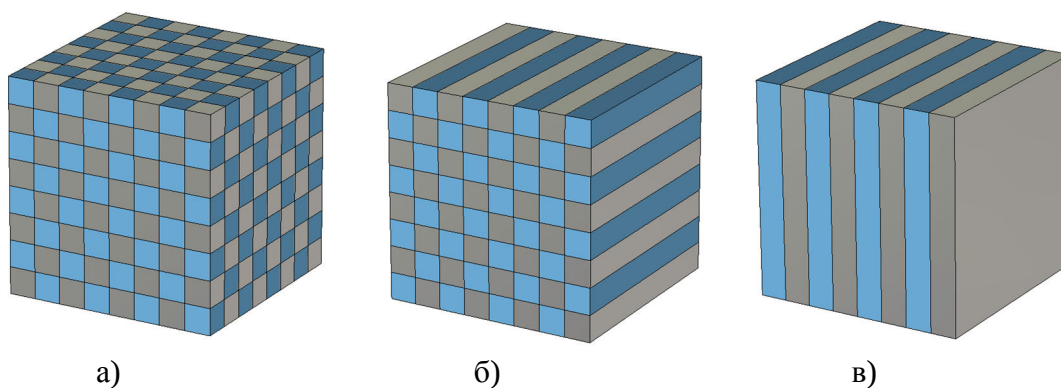


Рисунок 1.

В [3,4] описаны перестраиваемые фильтры на основе одномерных фотонных кристаллов. Перестройка рабочей частоты осуществлялась за счет использования жидких кристаллов и сегнетоэлектриков в качестве слоев одномерного фотонного кристалла.

Структура предлагаемого направленного ответвителя представляет собой двумерный ФК в виде треугольной решётки с постоянной a , формируемой отверстиями с радиусом r , находящихся в полупроводниковом материале (кремний). В структуру

введены два линейных дефекта, образованных удалением двух рядов отверстий, как показано на рис.2-а. Постоянная решётки $a = 0,7$ мм, радиус отверстий, расположенных между линейными дефектами, $0,266$ мм, радиус остальных отверстий ФК равен $0,21$ мм.

Введение линейных дефектов в ФК приводит к появлению чётной и нечётной мод распространяющейся волны в кристалле в «запрещённом» частотном диапазоне. Они имеют различные постоянные распространения k , и при разности фаз между модами равной π , происходит перераспределение энергии между волноведущими каналами на длине участка связи [5]. Для получения эффекта переключения центральные ряды отверстий заполняются материалом с изменяемой диэлектрической проницаемостью (нематическими жидкими кристаллами с $\varepsilon_r = 2 - 4$). Структура ответвителя показана на рис. 2.

При изменении диэлектрической проницаемости изменяется разность фаз между модами и соответственно изменяется длина связи L_c . На рабочей частоте при $\varepsilon_r = 2$ длина связи равна исходной электрической длине структуры, что обуславливает ответвление энергии из плеча 1 в плечо 4 (рис.3-а). При $\varepsilon_r = 4$ электрическая длина участка связи увеличивается, и перераспределения энергии между волноведущими каналами не происходит (рис.3-б). Таким, образом, устройство работает в режиме переключателя каналов с передачей энергии электромагнитной волны либо в канал 1, либо – в 4.

Частотные зависимости коэффициентов отражения и передачи для двух режимов работы направленного ответвителя, полученные путем электродинамического моделирования структуры, представлены на рис. 4.

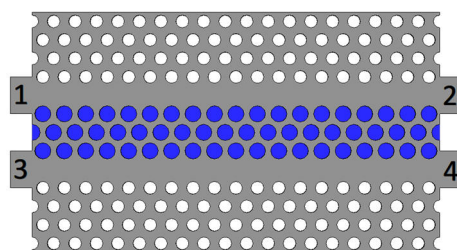


Рисунок 2.

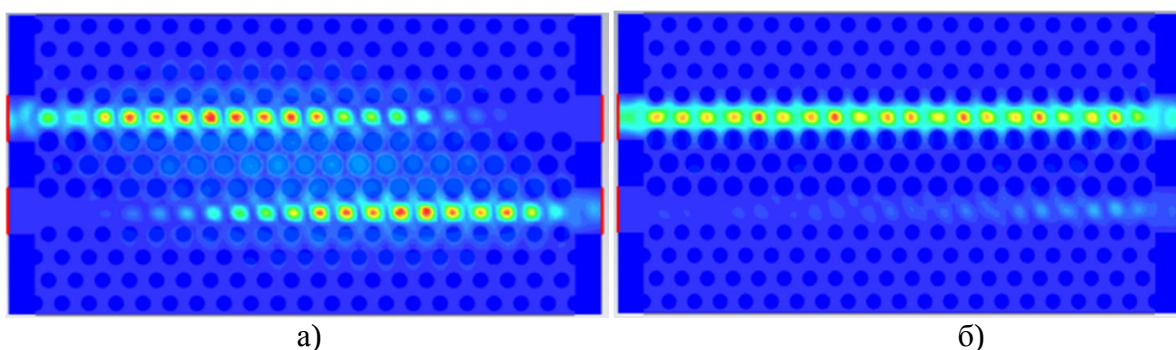


Рисунок 3. Напряжённость магнитного поля в структуре: а) при $\varepsilon_r = 2$; б) при $\varepsilon_r = 4$.

Рабочая частота ответвителя 96,4 ГГц. На рис.4 представлены частотные зависимости коэффициентов передачи и отражения для двух режимов работы направленного ответвителя.

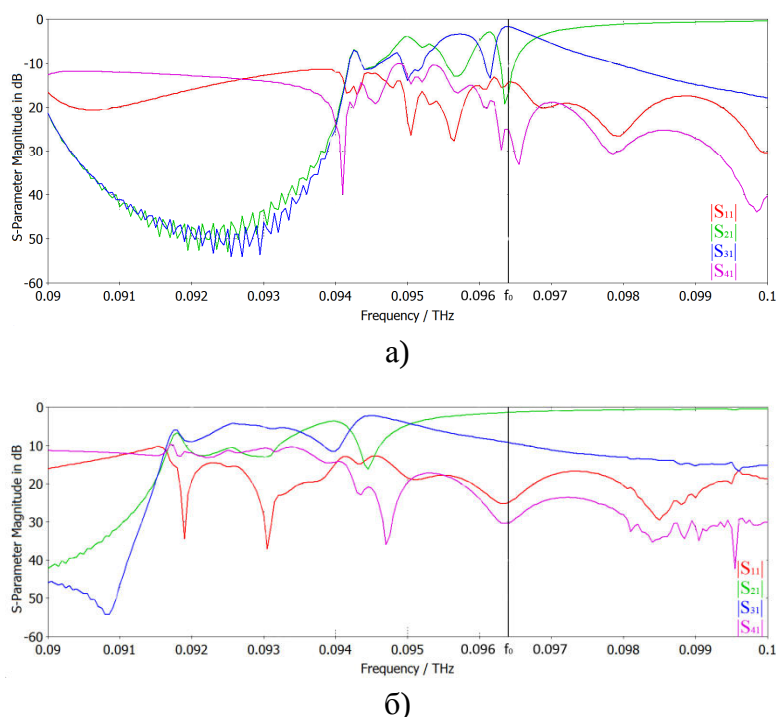


Рисунок 4. Параметры матрицы рассеяния направленного ответвителя при $\varepsilon_r = 2$ (а) и $\varepsilon_r = 4$ (б).

В работе представлена структура перестраиваемого направленного ответвителя на основе двумерного фотонного кристалла. Перестройка осуществляется за счет частичного заполнения отверстий фотонного кристалла жидким кристаллом. Под действием приложенного напряжения или температуры изменяется диэлектрическая проницаемость жидких кристаллов, что в свою очередь приводит к изменению направления распространения электромагнитных волн в структуре.

Библиографический список

1. E. Ozbay, " Layer-by-layer photonic crystals from microwave to far-infrared frequencies", J. Opt. Soc. Am. B, vol. 13, pp. 1945-1955, 1996
2. M. Bayindir , E. Ozbay , B. Temelkuran , M. M. Sigalas , C. M. Soukoulis , R. Biswas and K. M. Ho "Guiding, bending and splitting of electromagnetic waves in highly confined photonic crystal waveguides", Phys. Rev. B, vol. 63, no. 8, 2001
3. H. Nemec , P. Kuzel , L. Duvillaret , A. Pashkin , M. Dressel and M. T. Sebastian "Highly tunable photonic crystal filter for the terahertz range", Opt. Lett., vol. 30, no. 5, pp.549 -551 2005
4. K. L. Jim, D. Wang, D. C. Leung, C. Choy, H. L. W. Chan, "One-Dimensional Tunable Ferroelectric Photonic Crystals Based on Ba_{0.7}Sr_{0.3}TiO₃/ MgO multilayer thin films", J. Appl. Phys. 103 (2008) 083107.
5. S. Kuchinsky , V. Y. Golyatin , A. Y. Kutikov , T. P. Pearsall and D. Nedeljkovic "Coupling between photonic crystal waveguides", IEEE J. Quantum Electron., vol. 38, no. 10, pp.1349 -1352 2002