

## Оптические колебания в двумерной решетке связанных нелинейных волноводов или резонаторов

И.В. Савочкин,\* А.П. Сухоруков

Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова,  
физический факультет, кафедра фотоники и физики микроволн  
Россия, 119991, Москва, Ленинские горы, д. 1, стр. 2

Рассматривается задача распространения света в двумерной решетке связанных волноводов. Развита теория переключения и формирования локализованных мод в системе связанных волноводов. Проведено численное моделирование распространения света в волноводах при различных параметрах.

PACS: 42.25.Bs, 42.60.Da, 42.65.Wi. УДК:621.373.826, 535.015.

Ключевые слова: нелинейная оптика, связанные волноводы, локализация.

Системы туннельно-связанных нелинейных оптических волноводов вызывают интерес в связи с возможными приложениями в качестве оптических ответвителей, элементов оптических логических устройств и т. п. [1, 2]. Поэтому детальное понимание основных характеристик подобных структур является очень важной составляющей для исследования новых эффектов.

Ранее нами были изучены кольцевые системы туннельно-связанных волноводов, состоящие из малого количества элементов [3]. В данной работе рассматривается двумерная решетка связанных нелинейных оптических волноводов. На вход одного или нескольких волноводов подается возмущение и затем изучается зависимость характера распространения света от основных параметров системы и входного сигнала. Сравняется распространение света в линейной и нелинейной системе. Исследуется эффект локализации излучения в одном или нескольких волноводах. Предлагается способ управления движением сигнала в решетке.

Изменение амплитуды волны  $C_n$  в  $n$ -м волноводе с расстоянием  $z$  описывается следующей системой уравнений [4]:

$$\frac{\partial C_n}{\partial z} = -i \sum_{\substack{n \\ n \neq m}} \alpha_{mn} C_n + i\beta_n |C_n|^2 C_n \quad (1)$$

Здесь  $\alpha_{mn}$  — коэффициент связи  $n$ -го и  $m$ -го волноводов,  $\beta_n$  — коэффициент нелинейности  $n$ -го волновода. Для численного решения системы (1) для любого числа волноводов была написана компьютерная программа, с помощью которой выполнено моделирование распространения света в исследуемой решетке для различных параметров сигнала на входе.

На рис. 1а изображена схема поперечного сечения исследуемой решетки волноводов. Кружками обозначены волноводы, либо аналогичные связанные осцилляторы, которые описываются теми же уравнениями. Соседние волноводы связаны между собой, то есть рас-

полагаются достаточно близко друг к другу, что излучение одного проникает в другой. Сигнал подается на вход первого (центрального) волновода. На рис. 1б и 1в представлены графики зависимости интенсивности от расстояния  $z$  для шести волноводов, пронумерованных на рис. 1а. Так как решетка обладает симметрией, данных шести волноводов достаточно для того, чтобы показать, как энергия перетекает из центрального волновода в соседние. Если все волноводы данной решетки являются нелинейными, то при достаточной интенсивности входящего излучения наблюдается эффект локализации — сигнал «запирается» в центральном волноводе (рис. 1в), в то время как слабый сигнал будет расширяться вследствие дискретной дифракции так же, как в решетке без нелинейности (рис. 1б).

Можно задать такое возмущение на входе нескольких волноводов, что при распространении вдоль волноводов этот сигнал будет смещаться по решетке в выбранном направлении. Комплексная амплитуда излучения на входе выбранных девяти (внутри рамки на рис. 2а волноводов задается формулой

$$C_i(0) = e^{-r_i} \cdot e^{ir_i \Delta\varphi}, \quad (2)$$

где  $r_i$  — расстояние между  $i$ -м и центральным волноводами в условных единицах,  $\Delta\varphi$  — фазовый сдвиг. Данное распределение амплитуды и фазы выбрано на основании аналогии с пучком Эйри [5].

На рис. 2а наглядно показана схема распределения амплитуды (цветом) и фазы (числом) на входе решетки. Заметим, что основная энергия сосредоточена в центральном волноводе. На рисунках 2б–2г представлены результаты численного моделирования. Цветом обозначена интенсивность излучения в волноводе. Видно, что при таком входном сигнале максимум интенсивности смещается вверх-вправо по решетке, при этом из-за дискретной дифракции сигнал расплывается по многим волноводам, но, что важно, он всегда имеет четко выраженный максимум. Меняя распределение фаз излучения на входе волноводов, можно менять направление «движения» сигнала, и вследствие этого изменится волновод, в котором сигнал окажется на выходе.

\*E-mail: savochkin@physics.msu.ru

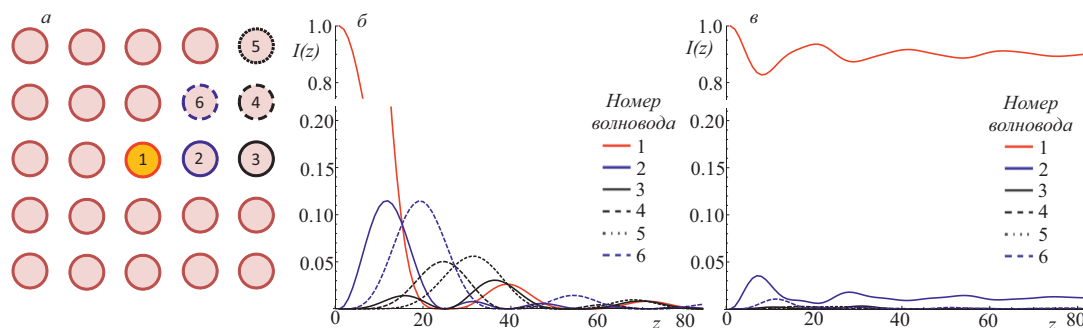


Рис. 1: а – Схема нумерации волноводов в решетке. б, в – Зависимость интенсивности  $I$  излучения в шести выбранных волноводах при различном коэффициенте нелинейности волноводов: б)  $\beta = 0$ ; в)  $\beta = 0,5$

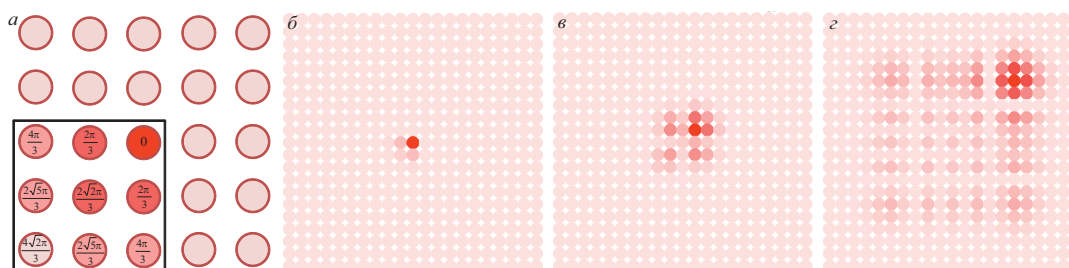


Рис. 2: а – Схема распределения амплитуды и фазы на входе решетки. б, в, г – Распределение интенсивности, нормированной на максимальную, в различных сечениях решетки: б)  $z = 0$ ; в)  $z = 25$ ; г)  $z = 70$

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (гранты № 14-02-01012, 14-02-90050).

- [1] Pertsch T., Peschel U., Lederer F., Burghoff J., Will M., Nolte S., Tünnermann A. Opt. Lett. **29**, N 5. P. 468. (2004).  
 [2] Moison J.M., Belabas N., Minot C., Levenson J.A. Opt. Lett. **34**, N 16. P. 2462. (2009).  
 [3] Виноградова М.Б., Руденко О.В., Сухоруков А.П. Тео-

- рия волн (М.: Наука, 1990).  
 [4] Sukhorukov A.P., Savochkin I.V. J. Phys.: Conf. Ser. **478**, N. 012010. (2013).  
 [5] Wang S., Fan D., Bai X., Zeng X. Phys. Rev. A. **89**, N 023802. (2014).

## Optical oscillations in two-dimensional lattice of coupled nonlinear waveguides or cavities

I. V. Savochkin<sup>a</sup>, A. P. Sukhorukov

Department of Photonics and Microwave Physics, Faculty of Physics, Lomonosov Moscow State University  
 Moscow 119991, Russia  
 E-mail: <sup>a</sup>savochkin@physics.msu.ru

The problem of light propagation was considered in a two-dimensional lattice of coupled waveguides. A theory of switching and shaping of localized modes in a system of coupled waveguides was developed. Numerical simulation of light propagation in the waveguides was performed for different parameters.

PACS: 42.25.Bs, 42.60.Da, 42.65.Wi.

Keywords: nonlinear optics, coupled waveguides, localization.

### Сведения об авторах

1. Сухоруков Анатолий Петрович — докт. физ.-мат. наук, профессор, заведующий кафедрой фотоники и физики микроволн.
2. Савочкин Игорь Владимирович — аспирант; тел.: (495) 939-33-17, e-mail: savochkin@physics.msu.ru.