

Нелинейные эффекты в связанных магннных кристаллах

М.А. Морозова О.В. Матвеев*

*Саратовский государственный университет, факультет нелинейных процессов,
кафедра нелинейной физики. Россия, 410012, г. Саратов, ул. Астраханская, д. 83*

Построена модель для периодической структуры в виде двух связанных магннных кристаллов. Полученная модель представляет собой систему четырех связанных нелинейных уравнений Шредингера для амплитуд огибающих магнитостатических волн. На основе модели проведено численное исследование поведения таких характеристик структуры, как коэффициенты отражения и пропускания.

PACS: 05.45.Yv, 41.20.Jb, 75.30.Ds, 75.70.Cn.

УДК: 537.622, 537.86.

Ключевые слова: магнитостатические волны, магннные кристаллы, метод связанных волн.

Магннные кристаллы (МК) — периодические структуры, в которых распространяющимися волнами являются магнитостатические волны (МСВ), представляют существенный научный и практический интерес применительно к управлению СВЧ сигналами. Наличие запрещенных зон в спектре МСВ открывает широкие возможности по использованию МК в СВЧ фильтрах, линиях задержки, резонаторах и т. д. [1]. В нелинейном случае при увеличении входной мощности имеет место эффект «переключения» — периодическая структура начинает пропускать сигнал на частотах, лежащих внутри запрещенной зоны. Данная особенность позволяет рассматривать МК в качестве нелинейного фазовращателя и усилителя отношения сигнал/шум, а также приводит к формированию щелевых солитонов огибающих волн в запрещенной зоне МК [2]. Связь между двумя периодическими структурами является дополнительным управляющим параметром, что широко используется как в электронике СВЧ, так и в волоконной оптике [3–5]. При наличии связи в линейном случае происходит перекачка энергии между слоями структуры. В нелинейном случае имеет место эффект «подавление линейной перекачки» [6].

На основе метода связанных волн, в предположении, что потенциал электромагнитного поля вблизи запрещенной зоны представляет собой сумму прямых и встречных волн, была построена модель для описания распространения прямых объёмных магнитостатических волн в структуре из двух связанных магннных кристаллов МК 1 и МК 2 (см. рис. 1, а). Полученная система представляет собой систему нелинейных уравнений Шредингера, описывающих эволюцию амплитуд огибающих прямых и встречных волн в связанной структуре с учетом линейной и нелинейной связи между ними. На основе численного решения системы показано следующее. Во-первых, в структуре с увеличением амплитуды входного сигнала происходит сдвиг запрещенных зон, причём запрещенная зона для быстрой моды волны ($T+$) сдвигается на большую вели-

чину, чем запрещенная зона для медленной моды ($T-$) (см. рис. 1, б, в).

Во-вторых, исследуемая структура имеет возможность нелинейного переключения между портами структуры, заключающегося в том, что, в зависимости от амплитуды входного сигнала, большая часть мощности выходит через один из четырёх портов связанной структуры. На рис. 2 представлены передаточные характеристики структуры связанных МК ($T^{1,2}$ — коэффициенты пропускания МК 1 и МК 2, $R^{1,2}$ — коэффициенты отражения) и пространственно-временная эволюция амплитуд огибающих прямых (A_1, A_2) и встречных волн (B_1, B_2). Передаточные характеристики представляют собой нормированные мощности сигнала, выходящие из соответствующих портов: T_1 описывает мощность выходящую через порт 2 структуры, показанной на рис. 1, а, T_2 — через порт 4, R_1 — через порт 1, R_2 — через порт 3. Из рис. 2, а видно, что импульс малой входной амплитуды A_{01} (меньше точки переключения $_{МК}$, т. е. $A_{01} < A_{МК}$) отражается, а импульс большой амплитуды ($A_{МК} < A_{01}$) проходит через связанные МК (см. рис. 2 б, в). Такая динамика аналогична случаю одиночного МК. При дальнейшем увеличении амплитуды связанные МК ведут себя аналогично связанным однородным плёнкам. Так, при входной амплитуде меньше точки переключения $_{пл}$ ($A_{МК} < A_{01} < A_{пл}$) импульс выходит из МК 2, а больше точки переключения $_{пл}$ ($A_{пл} < A_{01}$) выходит из МК 1 (см. рис. 2 г, д).

Таким образом, в структуре связанных МК имеет место эффект «двойного нелинейного переключения» (существует две точки нелинейного переключения - значения входной амплитуды, в которых меняется характер распространения сигнала). Данная особенность даёт возможность использовать связанные МК для осуществления ряда операций по функциональной обработке нелинейных СВЧ сигналов. Например, линия передачи на основе связанных МК может функционировать как нелинейный направленный ответвитель, в котором в зависимости от входной мощности импульс выйдет через один из четырёх портов связанной структуры.

*E-mail: olvmatveev@gmail.com

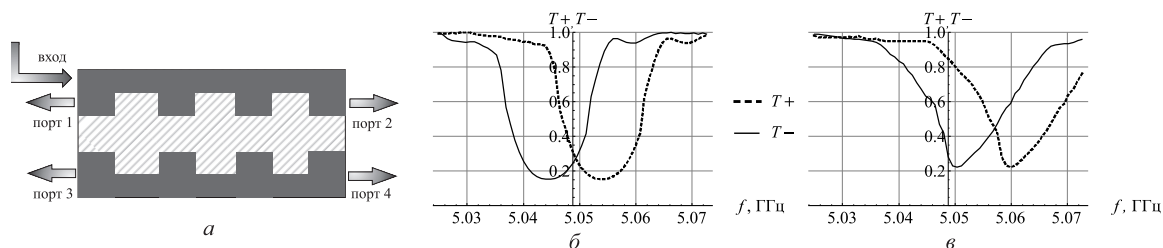


Рис. 1: (а) Схема структуры из двух связанных МК. (б,в) Зависимости коэффициента пропускания структуры от частоты входного сигнала при возбуждении быстрой моды волны $T+$ (пунктирная кривая) и медленной моды волны $T-$ (сплошная кривая) при различных значениях амплитуд входного сигнала: $A_{01} = 0,01$ (б); $A_{01} = 0,04$ (в)

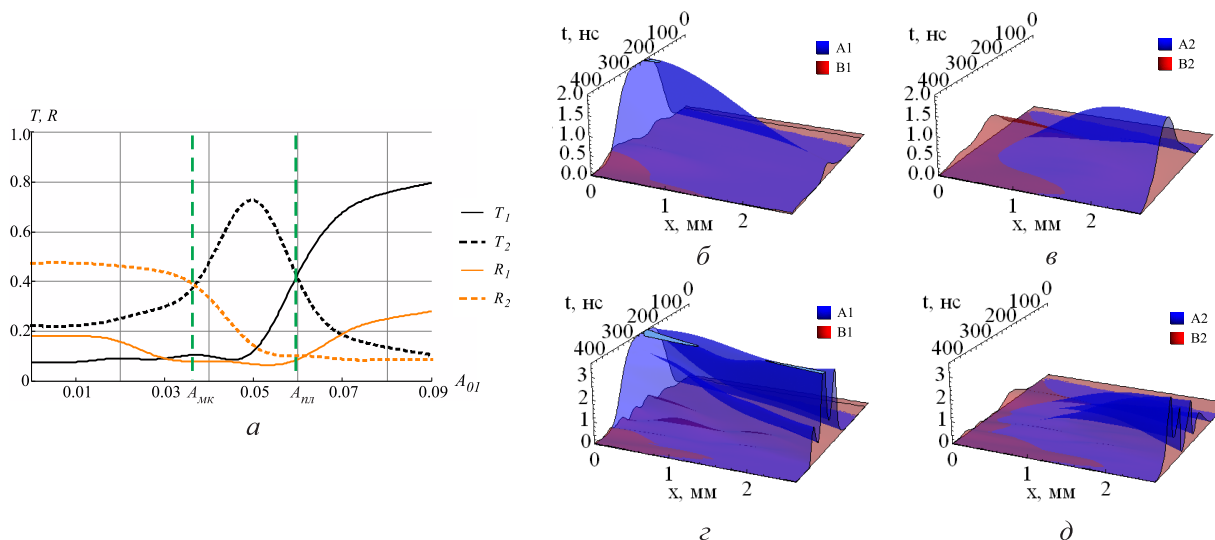


Рис. 2: (а) Передаточные характеристики структуры в зависимости от амплитуды входного сигнала A_{01} . (б,в) Пространственно-временная эволюция амплитуд огибающих волн при $A_{МК} < A_{01} < A_{пл}$. (г,д) Пространственно-временная эволюция амплитуд огибающих волн при $A_{пл} < A_{01}$

- [1] Nikitov S.A., Tailhadesand Ph., Tsai C.S. Journal of Magnetism and Magnetic Materials. **236**, N. 3. P.320. (2001).
- [2] Sheshukova S.E. et al. Phys. Wave Phenom. **21**, N.4. P. 304. (2013).
- [3] Kashyap R. Fiber Bragg Gratings. (San Diego: Acad. Press, 1999).
- [4] Agrawal G.P. Applications of nonlinear optics. (San Diego: Acad. Press, 2001).
- [5] Orlov S.S., Yariv A., van Essen S. Optics Letters. **22**, N 10. P.688. (1997).
- [6] Бегинин Е. Н., Морозова М.А., Шараевский Ю.П. ФТТ. **52**. Вып. 1. С. 76. (2010).

Nonlinear phenomena in coupled magnonic crystals

M. A. Morozova, O. V. Matveev^a

Department of Nonlinear Physics, Faculty of Nonlinear Processes, Saratov State University.
Saratov 410012, Russia.

E-mail: ^aolvmatveev@gmail.com

A model for a periodic structure in the form of two coupled magnonic crystals is derived. The resulting model is a system of

four coupled nonlinear Schrödinger equations for the amplitudes of the envelopes magnetostatic waves. Based on the model, a numerical research of reflection and transmission of such structures is conducted.

PACS: 05.45.Yv, 41.20.Jb, 75.30.Ds, 75.70.Cn.

Keywords: magnetostatic waves, magnonic crystals, coupled-mode theory.

Сведения об авторах

1. Морозова Мария Александровна — канд. физ.-мат. наук, доцент; тел.: (8452)51-69-47 , e-mail: maluginama@yandex.ru.
2. Матвеев Олег Валерьевич — аспирант; тел.: 8(962)627-56-73, e-mail: olvmatveev@gmail.com.