

## Усиление эффекта нелинейной дифракции Рамана–Ната в двумерных нелинейных структурах

А.М. Вьюнышев<sup>1,2,\*</sup>, И.В. Тимофеев<sup>1,2</sup>, Г.И. Поспелов<sup>2</sup>, Б.А. Наседкин<sup>2</sup>, Ю.А. Шереметьева<sup>2</sup>, А.С. Чиркин<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Институт физики имени Л.В. Киренского СО РАН Россия,  
660036, Красноярск, Академгородок, д. 50, стр. 38

<sup>2</sup>Сибирский федеральный университет, Россия, 660041, Красноярск, пр. Свободный, д. 79

<sup>3</sup>Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова,  
физический факультет и международный лазерный центр  
Россия, 119991, Москва, Ленинские горы, д.1, стр. 2

Рассмотрена нелинейная дифракция Рамана–Ната в процессе генерации второй гармоники в двумерных нелинейных фотонно–кристаллических структурах. Получено аналитическое выражение для расчета спектрально–угловых характеристик генерируемого излучения. Нелинейная структура оптимизирована методом суперпозиции модуляции нелинейности для достижения эффективной множественной генерации второй гармоники.

PACS: 42.65.Ky      УДК:535.41

Ключевые слова: генерация второй гармоники, квазисинхронизм, нелинейная дифракция.

Квазисинхронные нелинейно–оптические взаимодействия в искусственно–структурированных нелинейно–оптических средах представляют интерес для генерации световых пучков с требуемыми пространственными и временными характеристиками, спектральным составом и другими параметрами. Обычно рассмотрение неколлинеарных нелинейно–оптических взаимодействий в них носит феноменологический характер и объясняется путем построения и анализа диаграмм фазового согласования. В настоящей работе рассмотрены векторные нелинейно–оптические взаимодействия в двумерных (2D) нелинейных фотонно–кристаллических структурах. Получено аналитическое выражение для расчета спектрально–угловых характеристик излучения в процессе генерации второй гармоники (ГВГ).

Рассматриваемые структуры имеют прямоугольную решетку с периодическим изменением знака нелинейной восприимчивости в направлении поперечной координаты. Периодичность структуры обуславливает дискретный набор пространственных гармоник, который может быть использован для достижения множественной ГВГ, получившей название нелинейной дифракции Рамана–Ната [1]. В отличие от линейного случая [2], данное явление наблюдается на частоте второй гармоники (ВГ) и характеризуется низкой эффективностью вследствие рассогласования продольных компонент волновых векторов взаимодействующих волн. Увеличить эффективность преобразования позволяют двумерные нелинейные фотонно–кристаллические структуры в режиме квазисинхронизма. Поскольку волновые расстройки для различных порядков нелинейной дифракции Рамана–Ната отличаются, для реализации множественного квазисинхронизма предложено структурировать нелинейную среду в направлении

продольной координаты методом суперпозиции модуляции нелинейности [3]. Суть метода [3] состоит в формировании нелинейной решетки путем сложения гармонических колебаний с пространственными частотами, соответствующими волновым расстройкам для рассматриваемых порядков нелинейной дифракции. Сформированная этим методом решетка не является периодической, но представляет собой оптимальную структуру с точки зрения максимизации амплитуд требуемых Фурье–компонент в пространственном спектре.

Для теоретического рассмотрения нелинейной дифракции Рамана–Ната в двумерной нелинейной фотонно–кристаллической структуре использована модель нелинейной дифракции Лауэ в одномерных доменных структурах [4]. Обобщение модели [4] на случай двумерных сред может быть выполнено в рамках подхода [5]. В этом случае, результирующее поле второй гармоники есть суперпозиция полей, генерируемых отдельными слоями толщиной  $d_q$ :

$$\begin{aligned}
 A(K_X) &= -i \frac{\alpha}{\Delta \tilde{k}} R(K_X) \sum_{q=1}^N (-1)^q \times \\
 &\times \exp(i d_q K_X^2 / 2k_2) \exp(i \Delta \tilde{k} v_q) \left( \exp(i \Delta \tilde{k} d_q) - 1 \right), \\
 R(K_X) &= \sum_m \xi_m \exp \left[ -a^2 (m q_X + K_X)^2 / 8 \right], \\
 \alpha &= -i \pi \beta_2 I_1 a^2 / 2, \\
 \Delta \tilde{k} &= \Delta k - K_X^2 / 2k_2, \quad \Delta k = k_2 - 2k_1,
 \end{aligned} \tag{1}$$

где множитель  $(-1)^q$  учитывает скачок фазы при переходе от слоя к слою, а множитель  $\exp(i \Delta \tilde{k} v_q)$  учитывает набег фазы на расстоянии  $v_q = \sum_{r=1}^{q-1} d_r$ ,  $k_{1,2}$  — волновые векторы на основной и удвоенной частоте,  $\beta_2$  — коэффициент нелинейной связи,  $I_1$  — интенсивность в центре пучка,  $a$  — размер пучка,  $q_X$  — основной вектор обратной нелинейной решетки в поперечном направлении,  $m$  — порядок нелинейной дифракции,  $\xi_m$  — коэффициенты Фурье,  $K_X$  — пространственная частота

\*E-mail: vyunishev@iph.krasn.ru

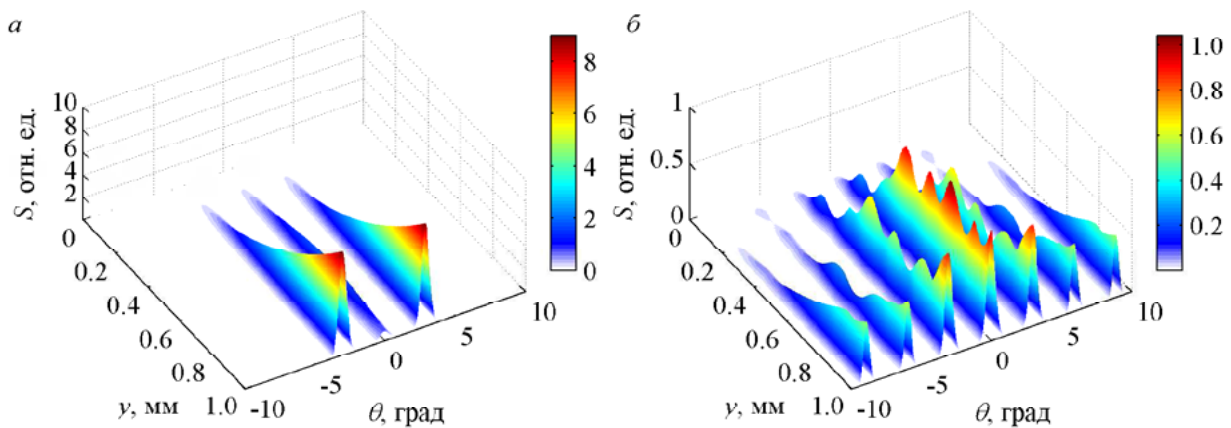


Рис. 1: Зависимость интенсивности второй гармоники от угла распространения и координаты вдоль периодической (а) и оптимизированной (б) структуры.

та. На рис. 1 приведены результаты расчета спектральной плотности ВГ ( $S(K_X) = |A(K_X)|^2$ ) в 2D структуре с заданным периодом ( $m = 1$ ), а также в оптимизированной структуре, обеспечивающей квазисинхронную ГВГ для первых четырех порядков нелинейной дифракции. Из рисунка видно, что в случае оптимизированной структуры имеет место одновременный рост интенсивности ВГ для целого набора дифракционных максимумов.

Таким образом, предложенный подход позволяет существенно повысить эффективность ГВГ в условиях нелинейной дифракции Рамана–Ната. Полученные результаты могут быть использованы для создания нового поколения нелинейно-оптических преобразователей лазерного излучения и оптических разветвителей.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Президента РФ МК-2908.2015.2, а также гранта РФФИ № 15-02-03838.

- [1] *Saltiel S.M. et al.* Phys. Rev. Lett. **100**. P.103902. (2008).  
 [2] *Балакиев В.И. и др.* Физические основы акустооптики. М.: Радио и связь. (1985).  
 [3] *Новиков А.А., Чиркин А.С.* ЖЭТФ. **133**, №3. С. 483.

- (2008).  
 [4] *Шутов И.В. и др.* Опт. и спектр. **105**, №1. P. 89. (2008).  
 [5] *Baudrier-Raybaut M. et al.* Nature. **432**. P. 374. (2004).

## Enhancement of Raman–Nath nonlinear diffraction effect in two-dimensional nonlinear structure

A.M. Vyunishev<sup>1,2,a</sup>, I.V. Timofeev<sup>1,2</sup>, G.I. Pospelov<sup>2</sup>, B.A. Nasedkin<sup>2</sup>, Yu.A. Sheremet'eva<sup>2</sup>, A.S. Chirkin<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Kirensky Institute of Physics SB RAS, Krasnoyarsk 660036, Russia

<sup>2</sup>Siberian Federal University, Krasnoyarsk 660041, Russia

<sup>3</sup>Faculty of Physics and International Laser Center, Lomonosov Moscow State University, Moscow 119991, Russia

E-mail: <sup>a</sup>vyunishev@iph.krasn.ru

Raman–Nath nonlinear diffraction in the process of second harmonic generation in two-dimensional nonlinear photonic structures is considered. An analytical expression for the calculation of spectral-angular characteristics of radiation is obtained. Nonlinear structure is optimized by the method of superposition of nonlinear susceptibility modulation to obtain efficient multiple second harmonic generation.

PACS: 42.65.Ky.

Keywords: second harmonic generation, quasi-phase-matching, nonlinear diffraction.

Received 27.07.2015.

**Сведения об авторах**

1. Вьюнышев Андрей Михайлович — канд. физ.-мат. наук, научный сотрудник; тел.: +7(913) 507-44-47, e-mail: vyunishev@iph.krasn.ru.
2. Тимофеев Иван Владимирович — канд. физ.-мат. наук, старший научный сотрудник, доцент; тел.: (391) 249-46-13, e-mail: tiv@iph.krasn.ru.
3. Поспелов Геннадий Игоревич — аспирант; тел.: +7(923) 350-36-19, e-mail: pospelovgi@mail.ru.
4. Наседкин Борис Александрович — студент; тел.: +7(983) 208-02-31, e-mail: boris-pinochet@mail.ru.
5. Шереметьева Юлия Александровна — студент; тел.: +7(923) 586-64-31, e-mail: France\_Grafinya@mail.ru.
6. Чиркин Анатолий Степанович — доктор физ.-мат. наук, профессор, профессор; тел.: (495) 939-30-93, e-mail: aschirkin@rambler.ru.