

## Генерация второй гармоники в регулярных доменных структурах с флуктуациями толщины промежуточных однородных слоев

А. М. Вьюнышев<sup>1,2,\*</sup>, И. В. Тимофеев<sup>1,2</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

Теоретически изучен процесс генерации второй оптической гармоники в квадратично-нелинейных кристаллах, состоящих из чередующихся однородных слоёв и слоёв с периодическим изменением знака нелинейности. Установлена зависимость эффективности процесса от числа слоёв и дисперсии толщины однородных слоёв.

PACS: 42.65.Ку.

УДК: 535:530.182

Ключевые слова: генерация второй гармоники, регулярные доменные структуры.

В настоящее время наиболее распространенным методом формирования регулярных доменных структур (РДС) является метод переполаризации сегнетоэлектрических кристаллов внешним электрическим полем. В то же время в качестве перспективных рассматриваются методы локального воздействия на вещество. К этим методам относится запись доменных структур с помощью электронного и атомно-силового микроскопов [1–3], а также лазерная запись доменных структур [4]. Преимуществом перечисленных методов является возможность формирования произвольных доменных структур субмикронного и наноразмерного диапазонов. Сформированные этими методами структуры пригодны как для целей нелинейной оптики, так и для сверхплотной записи информации. Их недостатком является небольшая область записи доменных структур, которая ограничена площадью с линейными размерами порядка 0.02–0.1 см. При формировании протяженных структур (размером порядка 1 см) возникает необходимость последовательной их записи. Это приводит к случайным набегам фаз взаимодействующих волн на отдельных участках однородной структуры из-за ограниченной точности позиционирования образца. В связи с этим представляет интерес рассмотрение влияния упомянутых случайных фазовых набегов на эффективность протекания нелинейно-оптических процессов в указанных структурах.

В настоящей работе рассмотрен процесс генерации второй гармоники (ГВГ) в составной структуре, состоящей из регулярных секций с периодом  $\Lambda$ , разделенных однородными слоями. Предполагается, что толщина однородных слоев в среднем кратна полупериоду модуляции нелинейности регулярной секции  $\langle d_n \rangle = \Lambda/2$  и флуктуирует в соответствии с нормальным распределением. Для определенности будем считать, что число однородных слоев равно числу регулярных секций  $N$ ,

причем каждая регулярная секция состоит из  $2M + 1$  домена. В приближении заданного поля накачки, амплитуда поля второй гармоники (ВГ) на выходе из составной структуры представляет собой суперпозицию полей, генерируемых отдельными слоями

$$A = -i\beta A_1 A_1^* \sum_{n=1}^N (A_H + A_R) =$$

$$= -i\beta A_1 A_1^* \sum_{n=1}^N \left( \int_{l_{n-1}}^{l_n} e^{i\Delta k y} dy + \int_{l_n}^{l_{n+1}} g(y) e^{i\Delta k y} dy \right), \quad (1)$$

в котором  $\Delta k = k_2 - 2k_1$  — волновая расстройка,  $\beta = 4\pi k_2 \chi^{(2)}/n_2$  — коэффициент нелинейной связи волн,  $n_2$  — показатель преломления на частоте ВГ,  $\chi^{(2)}$  — нелинейная восприимчивость,  $g(y)$  — функция модуляции нелинейной восприимчивости,  $A_H$  — амплитуда поля ВГ в однородном слое со случайной толщиной  $d_n = l_n - l_{n-1}$

$$A_H = -i\beta A_1 A_1^* \int_{l_{n-1}}^{l_n} e^{i\Delta k y} dy =$$

$$= -i\beta A_1 A_1^* \frac{e^{i\Delta k l_n} - e^{i\Delta k l_{n-1}}}{i\Delta k}. \quad (2)$$

Амплитуда поля ВГ в регулярной секции может быть записана в виде

$$A_R = -i\beta A_1 A_1^* e^{i\Delta k l_n} \frac{1 - e^{-i\Delta k \Lambda/2}}{i\Delta k} \times$$

$$\times \sum_{m=1}^{2M+1} (-1)^m e^{i\Delta k m \Lambda/2}. \quad (3)$$

\*E-mail: [vyunishev@iph.krasn.ru](mailto:vyunishev@iph.krasn.ru)

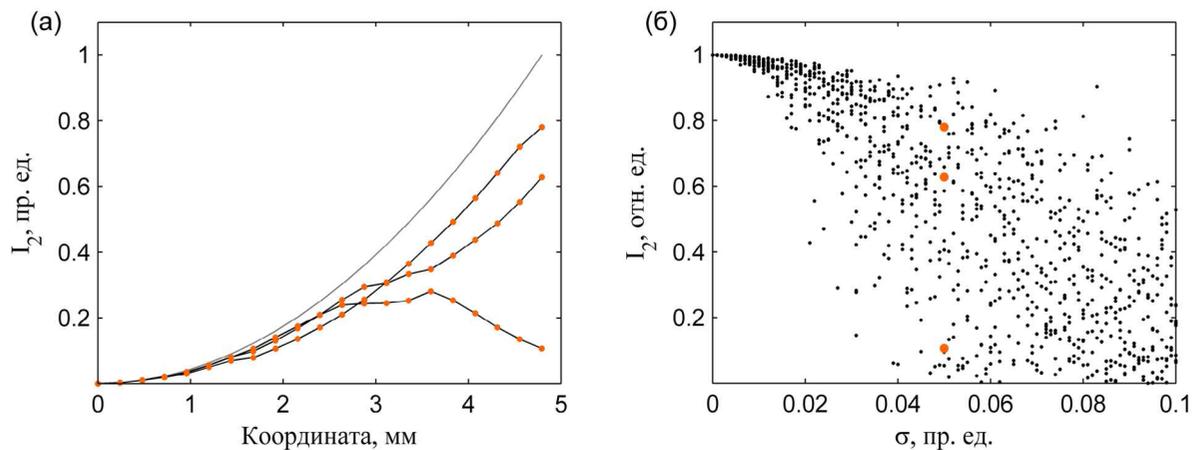


Рис. 1: (а) Сравнение роста интенсивности ВГ в РДС и составных структурах, (б) зависимость интенсивности ВГ на выходе структуры от среднеквадратичного отклонения толщины однородного слоя

Таким образом, выражение для поля ВГ на выходе из составной структуры имеет вид

$$A = -\frac{\beta A_1 A_1^*}{\Delta k} \sum_{n=1}^N [e^{i\Delta k l_{n-1}} (e^{i\Delta k d_n} - 1) + e^{i\Delta k l_n} (1 - e^{-i\Delta k \Lambda/2}) \sum_{m=1}^{2M+1} (-1)^m e^{i\Delta k m \Lambda/2}]. \quad (4)$$

На рис. 1(а) приведены результаты численного моделирования интенсивности ВГ ( $I_2 = |A_2|$ ), полученные с помощью выражения (4) для РДС и составных структур со среднеквадратичным отклонением толщины однородного слоя  $\sigma = 0.05$  ( $M = 30$ ,  $N = 20$ ,  $L \approx 5$  мм). Монотонный рост сигнала ВГ в пределах регулярных секций может сменяться спадом вследствие случайного набега фазы в однородных слоях и наоборот. На рис. 1(б) показана зависимость интенсивности ВГ

на выходе составной структуры от величины среднеквадратичного отклонения толщины однородного слоя для 10 случайных реализаций.

Анализ показал, что интенсивность второй гармоники  $I \propto N(4M + 3)^2 / (\Delta k)^2$ . Отсюда следует, что вклад однородных слоев в процесс ГВГ носит некогерентный характер, в то время как в регулярных секциях процесс происходит когерентно (складываются амплитуды). В итоге  $I^{\text{неког}} \propto NM^2$ , в то время как для когерентного сложения была бы зависимость  $I^{\text{ког}} \propto (NM)^2$ . Отсюда следует, что составная структура уступает по эффективности преобразования полностью регулярной структуре в  $N$  раз, т.е. в число однородных слоёв.

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

- [1] Shur V. Ya. et al. Appl. Phys. Lett. **106**, N 23. P. 232902. (2015).  
 [2] Simagina L. V. et al. J. Appl. Phys. **110**, N 5. P. 052015. (2011).  
 [3] Волк Т. П. и др. Письма в ЖЭТФ. **97**, № 8. С. 554.

(2013).

- [4] Kroesen S. et al. Appl. Phys. Lett. **107**, N 10. P. 101109. (2015).

## Second harmonic generation in regular domain structures with fluctuations of the thickness of intermediate layers

A. M. Vyunishev<sup>1,2,a</sup>, I. V. Timofeev<sup>1,2</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

The second optical harmonic generation in quadratic nonlinear crystal structure is theoretically investigated. The structure consists of regularly modulated inhomogeneous layers that are divided by homogeneous layers of random thickness. The dependence of the process efficiency on the layer number and dispersion of the layer thickness is determined.

PACS: 42.65.Ky.

Keywords: second optical harmonic generation, domain structures.

#### **Сведения об авторах**

1. Вьюнышев Андрей Михайлович — канд. физ.-мат. наук, ст. науч. сотрудник; e-mail: vyunishev@iph.krasn.ru.
2. Тимофеев Иван Владимирович — канд. физ.-мат. наук, ст. науч. сотрудник; ; тел.: (391) 249-46-13, e-mail: tiv@iph.krasn.ru.
3. Чиркин Анатолий Степанович — доктор физ.-мат. наук, профессор, профессор; тел.: (495) 939-30-93, e-mail: aschirkin@rambler.ru.