

УДК 535.317.1

ПРОСТРАНСТВЕННАЯ СТРУКТУРА ОБЪЕКТНОЙ ВОЛНЫ ПРИ ЧЕТЫРЕХВОЛНОВОМ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ В ПЛОСКОМ СЛОЕ НАНОСУСПЕНЗИИ С НАКЛОННЫМИ ГРАНЯМИ

© Алеферкина К.Е., Савельев М.В.

*Самарский национальный исследовательский университет
имени академика С.П. Королева, г. Самара, Российская Федерация*

e-mail: aleferkinaksenia@gmail.com

Знание пространственных характеристик четырехволновых преобразователей излучения является важным при их использовании для решения задач нелинейной адаптивной оптики. Ключевыми элементами таких устройств могут выступать среды с самыми различными механизмами нелинейности [1]. В случае использования в качестве нелинейной среды прозрачных жидких суспензий наночастиц (наносуспензий) [2] основной вклад в амплитуду объектной волны дает электрострикционный механизм, в результате чего четырехволновой преобразователь излучения осуществляет фильтрацию высоких пространственных частот сигнальной волны [3].

Классической схемой вырожденного четырехволнового взаимодействия (ВЧВВ) является схема, в которой встречные волны накачки распространяются ортогонально вектору силы тяжести, действующей на наночастицы в суспензии со стороны Земли [3; 4]. Однако непараллельность этому вектору граней плоского слоя среды может приводить к ускорению роста концентрации частиц на нижней грани [5], что проявляется в виде максимума, который наблюдается в модуле пространственного спектра объектной волны на низких пространственных частотах [6].

Целью работы является анализ динамики пространственной структуры объектной волны при ВЧВВ в зависимости от угла наклона граней слоя наносуспензии.

В приближениях заданного поля по плоским волнам накачки, падающим ортогонально граням слоя среды, и малого коэффициента преобразования энергии из сигнальной волны в объектную получено аналитическое выражение, описывающее пространственный спектр объектной волны при ВЧВВ с учетом ориентации граней среды относительно вектора силы тяжести, действующей на наночастицы. Проведен численный анализ полученного выражения при условии распространения сигнальной волны от точечного источника, расположенного на грани слоя. В качестве нелинейной среды выбрана водная суспензия толщиной 1 мм сферических наночастиц полистирола радиусом 100 нм. Считалось, что ВЧВВ осуществляется на длине волны второй гармоники Nd:YAG-лазера (532 нм). В силу прозрачности суспензии вкладом теплового механизма нелинейности в амплитуду объектной волны пренебрегалось.

Анализ показал, что в случае параллельности граней слоя вектору силы тяжести в модуле пространственного спектра объектной волны A существует провал до нулевого значения, с ростом пространственной частоты величина A возрастает и выходит на постоянное значение A_{\max} , что согласуется с результатами предыдущих исследований [3; 4]. Поворот плоского слоя на угол φ приводит к возникновению в провале тонкой структуры: наряду с нулевым значением A на нулевой частоте возникают еще два симметрично расположенных нулевых значения и, как следствие, два побочных максимума равной величины A_{side} .

Вплоть до величины $\varphi=60^\circ$ увеличение φ сопровождается смещением побочных максимумов в область больших (по модулю) пространственных частот, после чего они

с большей скоростью движутся обратно и при $\varphi=90^\circ$ сливаются в один максимум, который также наблюдался в работе [6]. Во всем диапазоне роста угла φ от 0 до 90° величина A_{side} монотонно увеличивается. Однако заметные значения, когда, например, A_{side} составляет не менее 1 % от постоянного значения A_{max} , достигаются при углах φ более 40° . Даже при $\varphi=90^\circ$ величина A_{side} составляет чуть менее 9 % от A_{max} . Это связано с тем, что для рассматриваемой среды радиус наночастиц равный 100 нм соответствует введенному в [6] диапазону малых эффективных масс частиц, согласно которому $A_{\text{side}} < A_{\text{max}}/2$. Равенство же $A_{\text{side}} = A_{\text{max}}/2$ достигается, если радиус частиц равен 137,4 нм.

Таким образом, поворот схемы ВЧВВ с волнами накачки, падающими ортогонально граням плоского слоя наносuspензии, позволяет регулировать эффективность преобразования и положение полосы фильтруемых низких пространственных частот сигнальной волны, что является предпочтительным в задачах компенсации мелкомасштабных фазовых искажений.

Библиографический список

1. Ивахник В.В. Обращение волнового фронта при четырехволновом взаимодействии. Самара: Самарский университет, 2010. 246 с.
2. Ivanov V.I., Ivanova G.D., Myagotin A.V. Four-wave mixing in the transparent nanosuspension // Proc. SPIE. 2017. Vol. 11024. P. 110240Y.
3. Савельев М.В., Ремзов А.Д. Пространственно-временные характеристики четырехволнового преобразователя излучения с учетом поля тяжести Земли, действующего на растворенные в прозрачной жидкости наночастицы // Компьютерная оптика. 2022. Т. 46, № 4. С. 547-554.
4. Ремзов А.Д., Савельев М.В. Встречное четырехволновое взаимодействие в прозрачной суспензии наночастиц в поле тяжести Земли // Изв. РАН. Сер. физ. 2021. Т. 85, № 12. С. 1770-1775.
5. Черепанов И.Н., Смородин Б.Л. Перенос примеси наночастиц в сосуде с наклонными боковыми границами // Вестник Пермского университета. Физика. 2018. № 1 (39). С. 81-88.
6. Savelyev M.V., Ivakhnik V.V. Spatial selectivity of the four-wave radiation converter with allowance for gravity acting on nanoparticles dissolved in a transparent liquid // Radiophys. Quantum Electron. 2021. Vol. 63 (8). P. 625-633.