

# Формирование пространственно-временных оптических вихрей в плоскопараллельном волноводе с помощью интегральной металлодиэлектрической структуры

Е.А. Безус

Институт систем обработки изображений,  
НИЦ «Курчатовский институт»;  
Самарский национальный исследовательский университет им. академика С.П. Королева  
Самара, Россия  
evgeni.bezus@gmail.com

А.И. Кашапов

Институт систем обработки изображений,  
НИЦ «Курчатовский институт»;  
Самарский национальный исследовательский университет им. академика С.П. Королева  
Самара, Россия  
ar.kashapov@gmail.com

Д.А. Быков

Институт систем обработки изображений, НИЦ «Курчатовский институт»;  
Самарский национальный исследовательский университет им. академика С.П. Королева  
Самара, Россия  
bucovd@gmail.com

Е.А. Кадомина

Институт систем обработки изображений,  
НИЦ «Курчатовский институт»;  
Самарский национальный исследовательский университет им. академика С.П. Королева  
Самара, Россия  
kadomina\_elena@mail.ru

Л.Л. Досколович

Институт систем обработки изображений,  
НИЦ «Курчатовский институт»;  
Самарский национальный исследовательский университет им. академика С.П. Королева  
Самара, Россия  
leonid@ipsirs.ru

**Аннотация** — Теоретически показана возможность формирования пространственно-временного оптического вихря в плоскопараллельном диэлектрическом волноводе. Пространственно-временной вихрь формируется при отражении падающего пространственно-временного оптического сигнала от резонансной интегральной металлодиэлектрической структуры, состоящей из металлических полос, погруженных в волновод. Теоретическое описание взаимодействия падающего импульса со структурой в рамках теории линейных систем подтверждается результатами численного моделирования в рамках строгой электромагнитной теории дифракции. Полученные результаты представляются перспективными для дальнейшего исследования и применения пространственно-временных оптических вихрей на платформе интегральной нанофотоники.

**Ключевые слова** — оптические вычисления, оптический вихрь, интегральная структура, плоскопараллельный волновод

## I. ВВЕДЕНИЕ

Исследование оптических пучков, содержащих т.н. оптические вихри (ОВ), привлекает большое внимание исследователей в течение нескольких последних десятилетий [1–3]. Это связано как с фундаментальным интересом, так и с потенциальными практическими приложениями таких пучков, в частности, в задачах оптической микроманипуляции, коммуникации и микроскопии [1]. Новым и активно развивающимся направлением в этой области является исследование пространственно-временных ОВ, обладающих поперечным угловым моментом [4].

В настоящей работе исследуется формирование пространственно-временных оптических вихрей в плоскопараллельном диэлектрическом волноводе с помощью интегральной структуры, состоящей из

металлических полос, погруженных в волновод. Показано, что исследуемая структура позволяет формировать пространственно-временные ОВ в интегральной геометрии с высоким качеством.

## II. ГЕОМЕТРИЯ ИССЛЕДУЕМОЙ СТРУКТУРЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Геометрия структуры показана на рис. 1. Структура состоит из трех полос из золота (Au), разделенных диэлектрическими «сегментами» волновода толщиной  $a = 100$  нм (материалы отмечены цветами на рис. 1). Материал диэлектрика волновода — фосфид галлия (GaP). Волновод погружен в диоксид кремния ( $\text{SiO}_2$ ).

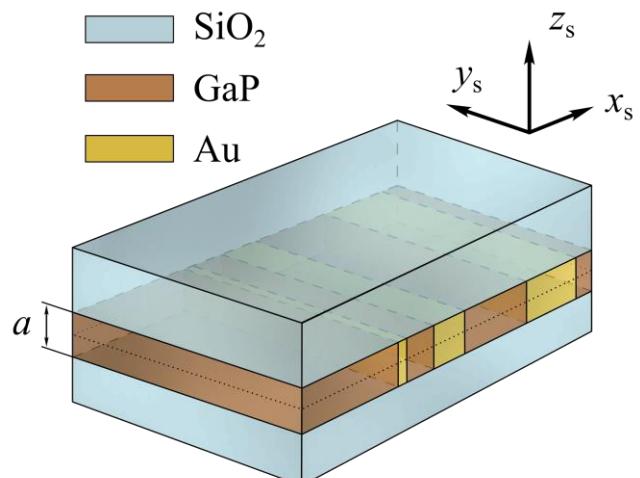


Рис. 1. Геометрия исследуемой интегральной структуры для формирования пространственно-временных ОВ в волноводе

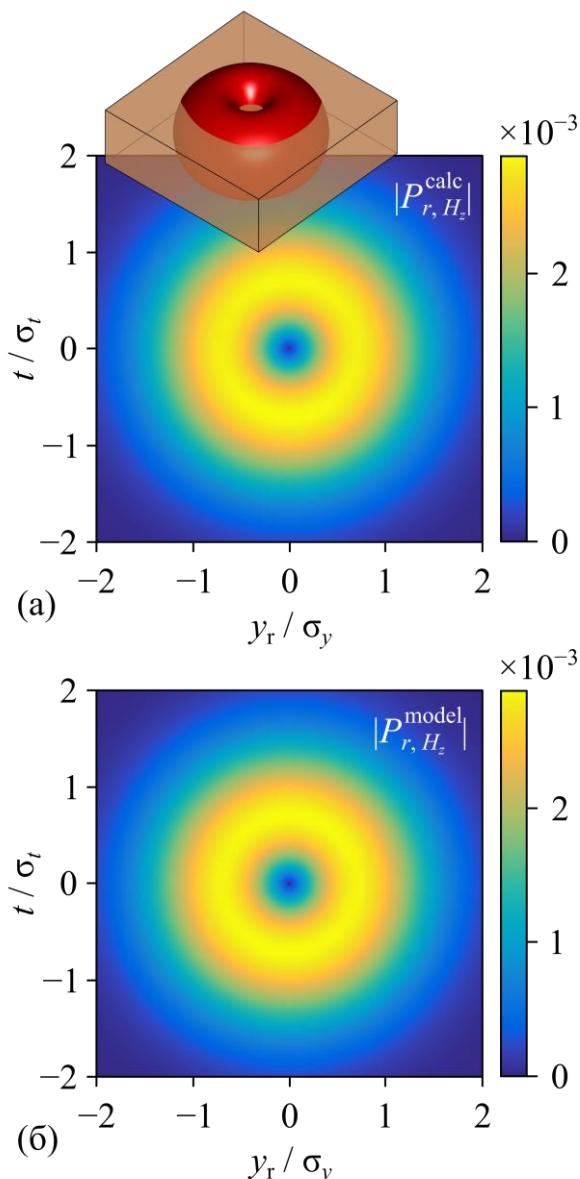


Рис. 2. Модули численно рассчитанной огибающей  $H_z$ -компоненты отраженного оптического импульса (а) и модельной функции (б)

Ширины частей рассматриваемой интегральной структуры были рассчитаны с использованием оптимизационного подхода из условия получения передаточной функции структуры [5], обеспечивающей формирование пространственно-временного ОВ в волноводе. Ширины частей найденной структуры описываются следующим набором значений: [25, 52, 60, 170, 120] нм. Рабочая длина волны составляет 630 нм, а оптический сигнал (ТЕ-поляризованный

пространственно-временной гауссов импульс, распространяющийся в волноводе) падает на структуру наклонно под углом 65 градусов. Отметим, что при указанном угле падения при дифракции волноводной ТЕ-поляризованной моды на структуре отсутствуют рассеяние падающей волны из волновода (в области над и под структурой) и возбуждение ТМ-поляризованных отраженной и прошедшей мод. Результаты строгого расчета отраженного импульса, показывающие формирование пространственно-временного ОВ, и соответствующая «модельная» функция показаны на рис. 2. Нормированная среднеквадратичная ошибка между значениями на рис. 2(а) и 2(б) не превышает 0,5%.

### III. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе показана возможность эффективного формирования пространственно-временного оптического вихревого пучка с помощью интегральной структуры, состоящей из трех металлических полос, погруженных в плоскопараллельный диэлектрический волновод. Приведенный пример численного моделирования в рамках строгой электромагнитной теории дифракции демонстрирует высокое качество формирования пространственно-временного оптического вихревого пучка в плоскопараллельном волноводе. Полученные результаты могут послужить основой для дальнейших исследований пространственно-временных ОВ в геометрии «на чипе».

### БЛАГОДАРНОСТИ

Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда (проект 19-19-00514).

### ЛИТЕРАТУРА

- [1] Lian, Y. OAM beam generation in space and its applications: A review / Y. Lian, X. Qi, Y. Wang, Z. Bai, Y. Wang, Z. Lu // Opt. Lasers Eng. – 2022. – Vol. 151. – Art. No. 106923.
- [2] Karpeev, S.V. Formation of high-order cylindrical vector beams with sector sandwich structures / S.V. Karpeev, V.V. Podlipnov, S.A. Degtyarev, A.M. Algubili // Computer Opt. – 2022. – Vol. 46(5). – P. 682–691.
- [3] Kotlyar, V.V. Focusing a vortex beam with circular polarization: angular momentum / V.V. Kotlyar, A.A. Kovalev, A.M. Telegin // Computer Opt. – 2023. – Vol. 47(4). – P. 524–532.
- [4] Bliokh, K.Y. Spatiotemporal vortex beams and angular momentum / K.Y. Bliokh, F. Nori // Phys. Rev. A. – 2012. – Vol. 86. – Art. No. 033824.
- [5] Doskolovich, L.L. Spatiotemporal optical differentiation and vortex generation with metal-dielectric-metal multilayers / L.L. Doskolovich, A.I. Kashapov, E.A. Bezus, D.A. Bykov // Phys. Rev. A – 2022. – Vol. 106. – Art. No. 033523.