

# Интерферометры Жире–Турнуа для мод диэлектрических плоскопараллельных волноводов

Е.А. Безус<sup>1,2</sup>, Д.А. Быков<sup>1,2</sup>, Л.Л. Досколович<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Институт систем обработки изображений РАН – филиал ФНИЦ «Кристаллография и фотоника» РАН, Молодогвардейская 151, Самара, Россия, 443001

<sup>2</sup>Самарский национальный исследовательский университет им. академика С.П. Королева, Московское шоссе 34а, Самара, Россия, 443086

## Аннотация

Предложены два типа интерферометров Жире–Турнуа (ИЖТ) для мод плоскопараллельных диэлектрических волноводов, представляющих собой выемку или ступеньку вблизи торца волновода. Интерферометры работают в геометрии наклонного падения фундаментальной ТЕ-поляризованной моды волновода. Показано, что предлагаемые структуры обеспечивают нелинейный «ступенчатый» фазовый отклик, характерный для ИЖТ. Установлено, что в ИЖТ, состоящих из диэлектрической ступеньки на торце волновода, существуют связанные состояния в континууме. Предлагаемые ИЖТ могут найти применение в интегральных оптических схемах для введения или компенсации хроматической дисперсии.

## Ключевые слова

Интерферометр Жире–Турнуа, волновод, волноводная мода

## 1. Введение

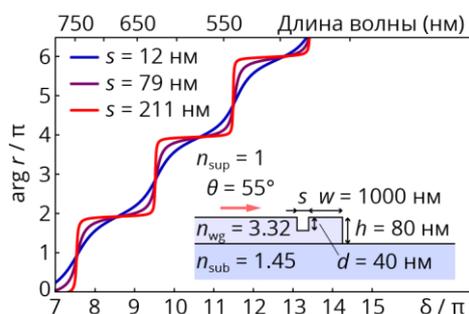
Обычный интерферометр (или эталон) Жире–Турнуа представляет собой оптический резонатор, работающий на отражение и состоящий из прозрачной пластинки с двумя отражающими поверхностями, первая из которых является частично отражающей, а вторая имеет высокую (в идеальном случае – единичную) отражательную способность [1]. Если в резонаторе отсутствуют (или пренебрежимо малы) потери энергии на поглощение, падающий свет полностью отражается на всех длинах волн, однако приобретает фазовый сдвиг, который имеет существенно нелинейную частотную зависимость. Это обуславливает целый ряд практических приложений ИЖТ, в частности, для компенсации хроматической дисперсии, сжатия импульсов, а также в оптических линиях задержки [2–4].

В связи с развитием интегральной нанофотоники большой интерес представляет разработка различных элементов «двумерной» оптики для управления распространением волноводных мод и поверхностных электромагнитных волн. В настоящей работе рассмотрены два типа планарных интерферометров Жире–Турнуа для мод плоскопараллельных диэлектрических волноводов.

## 2. Планарные интерферометры Жире–Турнуа

Оба предложенных ИЖТ работают в режиме, когда отсутствует «паразитное» рассеяние энергии падающей моды из волновода [5]. Первый тип ИЖТ состоит из выемки, выполненной на поверхности «полубесконечного» плоскопараллельного волновода вблизи его торца [6]. Характерные зависимости фазы отраженного излучения от длины волны и параметра  $\delta = 2k_0 n_{eff} \cos \theta \cdot w$  (где  $k_0$  – волновое число,  $n_{eff}$  – эффективный показатель преломления падающей моды,  $\theta$  — угол падения моды,  $w$  – ширина ступеньки, отделяемой выемкой), а также геометрия ИЖТ и параметры примера приведены на рисунке 1. Численное моделирование планарных интерферометров Жире–Турнуа проводилось с помощью собственной эффективной реализации неперидической модификации метода фурье-мод,

адаптированной для решения задач интегральной оптики [7]. Второй тип планарного ИЖТ, не обсуждаемый здесь более подробно из-за ограничений объема, представляет собой диэлектрическую ступеньку на торце волновода и поддерживает «фазовые» связанные состояния в континууме [8].



**Рисунок 1:** Фаза излучения, отраженного от планарного ИЖТ (показан на врезке) в зависимости от длины волны в свободном пространстве и параметра  $\delta$

### 3. Заключение

В работе были рассмотрены два типа планарных интерферометров Жире–Турнуа для мод диэлектрических плоскопараллельных волноводов, демонстрирующих характерный для ИЖТ нелинейный «ступенчатый» фазовый отклик. По мнению авторов, полученные результаты могут оказаться перспективными при создании новых интегральных оптических схем, а также могут быть перенесены на другие платформы интегральной оптики, в частности, платформу блоховских поверхностных волн, распространяющихся по поверхности фотонных кристаллов.

### 4. Благодарности

Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда (проект № 19-19-00514; исследование планарных ИЖТ) и Министерства науки и высшего образования РФ в рамках выполнения работ по гос. заданию ФНИЦ «Кристаллография и фотоника» РАН (соглашение № 007-ГЗ/ЧЗ363/26; реализация моделирующего программного обеспечения).

### 5. Литература

- [1] Gires, F. Interféromètre utilisable pour la compression d'impulsions lumineuses modulées en fréquence / F. Gires, P. Tournois // C. R. Acad. Sci. Paris. – 1964. – Vol. 258(25). – P. 6112-6115.
- [2] Madsen, C.K. Integrated all-pass filters for tunable dispersion and dispersion slope compensation / C.K. Madsen, G. Lenz, A.J. Bruce, M.A. Cappuzzo, L.T. Gomez, R.E. Scotti // IEEE Photonics Technol. Lett. – 1999. – Vol. 11(12). – P. 1623-1625.
- [3] Rivera, C.A. Gires–Tournois interferometer type negative dispersion mirrors for deep ultraviolet pulse compression / C.A. Rivera, S.E. Bradforth, G. Tempea // Opt. Express. – 2010. – Vol. 18(18). – P. 18615-18624.
- [4] Liu, H.-C. “Ideal” optical delay lines based on tailored-coupling and reflecting, coupled-resonator optical waveguides / H.-C. Liu, A. Yariv // Opt. Lett. – 2012. – Vol. 37(11). – P. 1964-1966.
- [5] Hammer, M. How planar optical waves can be made to climb dielectric steps / M. Hammer, A. Hildebrandt, J. Forstner // Opt. Lett. – 2015. – Vol. 40(16). – P. 3711-3714.
- [6] Bezus, E.A. Integrated Gires–Tournois interferometers based on evanescently coupled ridge resonators / E.A. Bezus, D.A. Bykov, L.L. Doskolovich // Opt. Lett. – 2020. – Vol. 45(18). – P. 5065-5068.

- [7] Silberstein, E. Use of grating theories in integrated optics / E. Silberstein, P. Lalanne, J.P. Hugonin, Q. Cao // J. Opt. Soc. Am. A. – 2001. – Vol. 18(11). – P. 2865-2875.
- [8] Bykov, D.A. Bound states in the continuum and strong phase resonances in integrated Gires–Tournois interferometer / D.A. Bykov, E.A. Bezus, L.L. Doskolovich // Nanophotonics. – 2020. – Vol. 9(1). – P. 83-92.