

# Коллинеарное взаимодействие излучения с бегущей решёткой показателя преломления в электрооптических волноводах

*В. М. Петров, Н. Д. Герасименко, В. С. Герасименко*

Национальный исследовательский университет ИТМО, Санкт-Петербург, Россия

На примере оптических волнопроводов в ниобате лития исследован режим коллинеарного взаимодействия бегущей решётки показателя преломления и когерентного излучения.

*Ключевые слова:* бегущие решётки показателя преломления, СВЧ амплитудная и фазовая модуляция света, дифракционные оптические элементы.

*Цитирование:* **Петров, В. М.** Коллинеарное взаимодействие излучения с бегущей решёткой показателя преломления в электрооптических волноводах / В. М. Петров, Н. Д. Герасименко, В. С. Герасименко // НОЛОEXPO 2021 : XVIII Международная конференция по голографии и прикладным оптическим технологиям : Тезисы докладов. — М. : МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2021. — С. 159–161.

## Введение

Взаимодействие коллинеарно-распространяющихся когерентного излучения и «бегущей» периодической решетки показателя преломления представляет практический интерес, т. к. данный тип взаимодействия позволяет создавать широкополосные устройства, востребованные в современных системах оптической и квантовой связи, широкополосной генерации квантового шума и т. д. Наиболее эффективно такое взаимодействие происходит, когда свет распространяется по оптическому волноводу, а бегущая решётка показателя преломления создаётся при помощи электродов бегущей волны. Ниже будет продемонстрировано, что при выполнении условия равенства фазовой и групповой скоростей распространения волны показателя преломления и оптического излучения, возникает эффективная фазовая модуляция излучения, которая может быть использована для создания телекоммуникационных устройств.

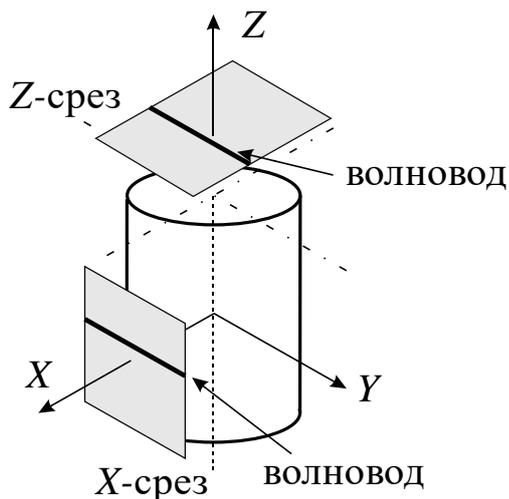
## 1. Эксперимент

Нами использовались подложки ниобата лития  $\text{LiNbO}_3$  двух срезов: Z-среза и X-среза (рис. 1).

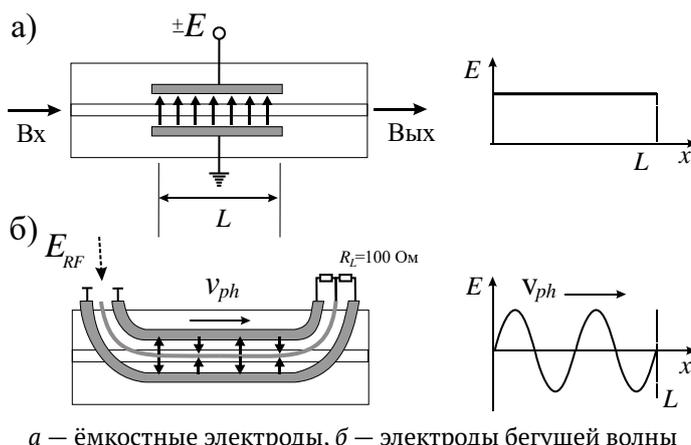
Для создания режима бегущей волны использовалась система копланарных электродов, показанная на рис. 2б. В этом случае вдоль электродов распространяется бегущая волна показателя преломления. Изменение показателя преломления для Z-среза, вызванное эффектом Поккельса, описывается линейным выражением.

$$\Delta n_{z,\text{LiNbO}_3} \approx n_e - \frac{1}{2} n_e^3 r_{33} E_z. \quad (1)$$

Здесь  $n_e$  — показатель преломления для необыкновенной волны,  $E_z$  — величина электрического поля, приложенного вдоль оси  $z$ . Прикладываемое поле никак не влияет на поглощение материала в оптическом диапазоне.



**Рис. 1.** Z- и X-срезы, используемые в работе. В обоих срезах изготавливаемые волноводы ориентированы параллельно оси Y



**Рис. 2.** Возможные типы электродов

Исследовались два типа волноводов (рис. 3). Слева показан случай двух линейных волноводов, образующих интерферометр Маха — Цендера, справа — случай одиночного линейного волновода.

Данные конструкции позволяют создавать «бегущие» периодические решётки показателя преломления с пространственным периодом, находящимся в диапазоне 0,1–5 см. Длина взаимодействия определялась длиной электродов, и в нашем случае составляла 5 см. Использовалось когерентное излучение с длиной волны в диапазоне 1520–1580 нм.

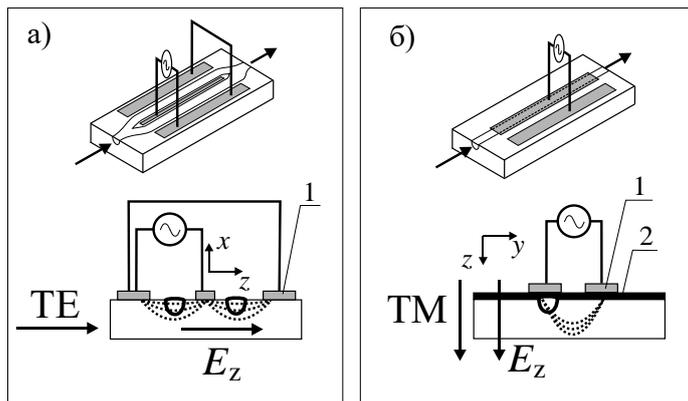
## 2. Теоретический анализ

Нами выявлена связь между зависимостью полосы модулирующих частот и эффективным показателем преломления (рис. 4).

Частотная характеристика электрооптического отклика, при одновременном учёте рас- согласования и потерь в электродах определяется выражением

$$H(f) = \sqrt{\frac{1 - 2 \exp[-\alpha(f)L] \cos(2\xi f) + \exp[-2\alpha(f)L]}{[\alpha(f)L]^2 + (2\xi f)^2}}, \tag{2}$$

где  $\alpha(f) = \alpha_0 \sqrt{f}$  частотно-зависимое затухание электрического сигнала в электродах, обуслов- ленные скин-эффектом,  $\alpha_0 = \alpha_0 \left[ \frac{\text{Нп}}{\text{м}\sqrt{\text{Гц}}} \right]$  — коэффициент затухания,  $L$  — длина области взаимо- действия модулируемой и модулирующей волн.



а – геометрия интерферометра Маха – Цендера, б – одиночный линейный волновод 1 – электроды бегущей волны, 2 – изолирующий слой

Рис. 3. Исследуемые типы волноводов

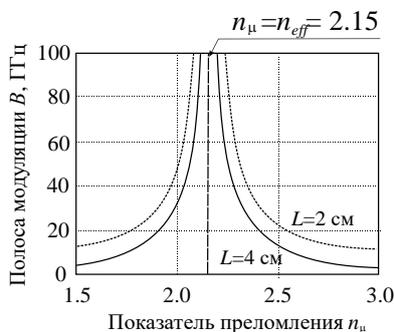


Рис. 4. Зависимость полосы частот  $B$  от рассогласования скоростей при разных длинах взаимодействия

### Заключение

Исследованные нами процессы коллинеарного взаимодействия когерентного излучения с бегущими решётками показателя преломления, позволяют создавать высокоэффективные фазовые и амплитудные модуляторы света. Рассмотренный тип взаимодействия обеспечивает частоты модуляции до 30 ГГц, что позволяет их использовать как в «обычных» системах оптической связи, так и в системах квантовых коммуникаций.

### Список источников

[1] Петров, В. М. Интерференция и дифракция для информационной фотоники / В. М. Петров, А. В. Шамрай. — СПб. : Лань, 2019. — 460 с.

[2] Петров, В. М. Отечественные СВЧ интегрально-оптические модуляторы для квантовых коммуникаций / В. М. Петров, А. В. Шамрай, И. В. Ильичёв, и др. // Фотоника. — 2020. — Том 14. — № 5. — С. 414–422.

[3] Петров В. М. Генерация оптических частотных гармоник для квантовых коммуникаций на боковых частотах / В. М. Петров, А. В. Шамрай, И. В. Ильичёв, и др. // Фотоника. — 2020. — Том 14. — № 7. — С. 570–582.