

Моды утечки и нелинейности в бегущих электро-оптических решетках

В. С. Герасименко, Н. Д. Герасименко

Национальный исследовательский университет ИТМО, Санкт-Петербург, Россия

При исследовании коллинеарного взаимодействия оптического излучения с бегущей решеткой показателя преломления для интерферометра Маха-Цендера было обнаружено, что при определенных условиях можно использовать перекачку энергии практически только в четные или нечетные порядки. При этом порядки второго типа в спектре присутствуют, но их амплитуда крайне мала. Объяснением этому являются моды утечки. Моделирование показало, что мощность мод утечки на выходе интерферометра Маха-Цендера может достигать до 14% от входной мощности в условиях минимальных потерь даже при отсутствии бегущей фазовой решетки. А взаимодействие этих мод с бегущей решеткой показателя преломления приводит к увеличению мощности мод утечки и значительному возрастанию оптического шума.

Ключевые слова: Бегущие решетки показателя преломления, СВЧ фазовая модуляция света, Дифракционные оптические элементы.

Цитирование: Герасименко, В. С. Моды утечки и нелинейности в бегущих электро-оптических решетках / В. С. Герасименко, Н. Д. Герасименко // HOLOEXPO 2022: XIX Международная конференция по голографии и прикладным оптическим технологиям : Тезисы докладов. — Барнаул: ИП Колмогоров И. А., 2022. — С. 357–359.

Электрооптические модуляторы из ниобата лития являются важными элементами как классических, так и квантовых систем связи [1, 2]. В этом случае верхняя граница динамического диапазона модулятора ограничена нелинейными искажениями, а нижняя — шумами. В то время как тепловые шумы сопротивления нагрузки электродов бегущей волны незначительны, оптические перекрестные помехи между волноводными модами и модами утечки могут быть ограничивающим фактором.

Типичный фазовый модулятор (ФМ) ниобата лития состоит из линейного волновода, над которым располагаются электроды бегущей волны. Так как геометрия проста, единственный источник мод утечки – дефекты обработки и изготовления (включая неправильное соединение волновода и оптических волокон). В амплитудном модуляторе (АМ) на ниобате лития также происходит фазовая модуляция в линейных частях интерферометра Маха-Цендера. Эта геометрия содержит s-образные изгибы, которые сами по себе являются источником утечки оптической мощности. Современный качественный ФМ имеет потери около 2,0 дБ, а потери АМ около 4 дБ.

Мы выполнили ряд симуляций как для фазового, так и для амплитудного модулятора. Потери ФМ, как и ожидалось, были вызваны только изменением профиля показателя преломления, однако в АМ на универсальном Y-объединителе возбуждаются дополнительные моды утечки. Дальнейшее моделирование проводилось только для АМ, как представляющего наибольший интерес.

На рис. 1 представлено моделирование Y-объединителя. Видно, что в этом случае мощность, распространяющаяся по плечам интерферометра, не попадает в выходной волновод, а полностью уходит в подложку по двум симметричным модам утечки, а затем падает на тыльную сторону подложки.

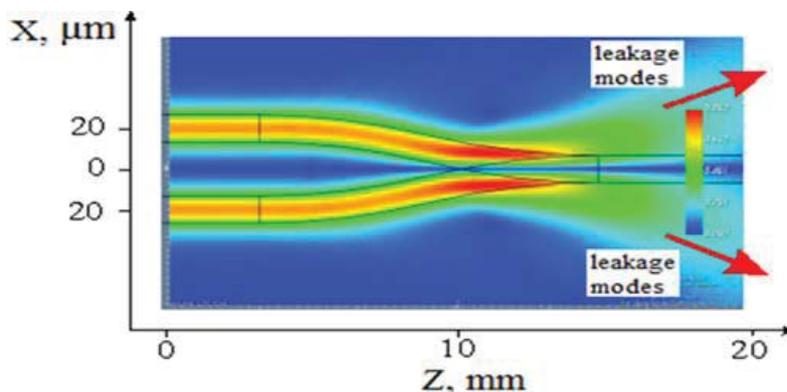


Рис. 1. Численное моделирование мод утечки на выходе амплитудного модулятора

Моды утечки создают в подложке неконтролируемый оптический шум, и часть этого излучения может снова попасть в волноводы. Это может привести к уменьшению динамического диапазона модулятора. На рис. 2 приведен пример моделирования процесса распространения обратно отраженной мощности от задней поверхности подложки.

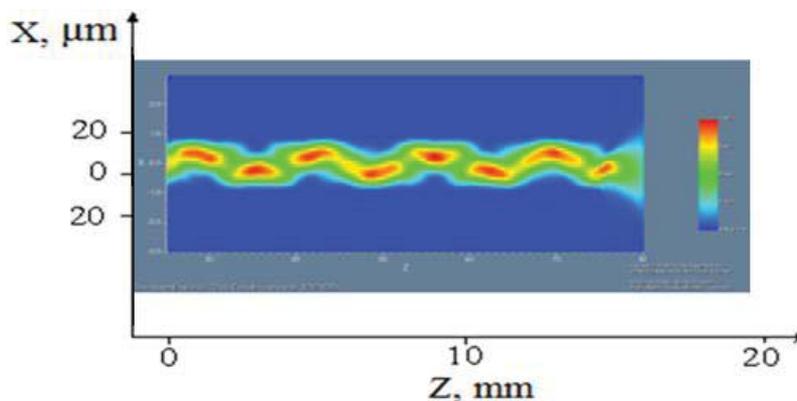


Рис. 2. Численное моделирование распределения мощности излучения, отраженного от задней грани и проникшего в подложку по модам утечки. Отраженная мощность распространяется справа налево

Другой важной проблемой является возможность атаки на квантовую линию связи, в которой используются как фазовые, так и амплитудные модуляторы. Оптическая мощность, рассеиваемая через моды утечки, синхронизирована с амплитудной модуляцией, используемыми в канале. Можно предположить, что часть рассеиваемой мощности может быть обнаружена злоумышленником в квантовой линии связи на заметном расстоянии от модулятора.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

- [1] **Петров В. М.** Отечественные СВЧ интегрально-оптические модуляторы для квантовых коммуникаций / Петров В. М., Шамрай А. В., Ильичёв И. В., П. Агрузов П. М., Лебедев В. В., Герасименко Н. Д., Герасименко В. С. // Фотоника. — 2020. — Том 14. — №5. — С. 414–422.
- [2] **Шамрай А. В.** Широкополосные интегрально-оптические модуляторы: достижения и перспективы развития. / Шамрай А. В., Петров В. М., Агрузов П. М., Лебедев В. В., Ильичёв И. В. // Успехи Физических Наук. — 2021. — Том 191. — №7. — С.760–782.

Leakage modes and nonlinearities in traveling electro-optical gratings

V. S. Gerasimenko, N. D. Gerasimenko

ITMO University, Saint-Petersburg, Russia

When we researched the collinear interaction of optical observation with a traveling refractive index grating for a Mach-Zehnder interferometer (MZI), it was found that under certain conditions it is possible to use energy transfers practically only in even or odd orders. In this case, orders of the second type are present in the spectrum, but their amplitude is extremely small. The explanation for this is the leakage modes. The simulation showed that the power of the leakage modes at the output of the MZI can reach up to 14% of the input power under conditions of minimal losses, even in the absence of a traveling phase grating. And the interaction of these modes with the refractive index traveling grating leads to an increase in the power of leakage modes and a significant increase in optical noise.

Keywords: Refractive index moving gratings, Microwave phase modulation of light, Diffractive optical elements.