

УДК 535.44;535.015;53.096

## ИССЛЕДОВАНИЕ ДРЕЙФА ФАЗЫ В ЭЛЕКТРООПТИЧЕСКИХ МОДУЛЯТОРАХ В $\text{LiNbO}_3$ ВЫЗВАННОГО ПИРОЭЛЕКТРИЧЕСКИМ ЭФФЕКТОМ

Смирнова А.В. (Университет ИТМО), Аксарин С.М. (Университет ИТМО)

Научный руководитель – к.ф.-м.н, Аксарин С.М. (Университет ИТМО)

В работе представлено экспериментальное исследование дрейфа фазы вызванного пироэлектрическим эффектом в электрооптических модуляторах Х-среза на основе  $\text{LiNbO}_3$  в схеме волоконного интерферометра Маха-Цендера. Проанализирована величина пироэлектрического эффекта и показана временная характеристика релаксации заряда. Дана оценка эффективности способов подавления пироэлектрического эффекта путем экранирования полярных граней токопроводящим компаундом в сравнении с восстановительным отжигом.

**Введение.** Кристалл ниобата лития (НЛ) является сегнетоэлектриком и обладает рядом оптических и электрооптических свойств. Благодаря своей структуре данный материал получил как широкое применение в интегральной оптике, так и популярность среди научных исследований. Однако, не смотря на неоспоримые преимущества использования НЛ в качестве интегрально-оптических модуляторов, кристалл обладает рядом недостатков. Причем некоторые из них не имеют решения до настоящего времени. В частности, сегнетоэлектрические свойства кристалла приводят к проявлению спонтанной поляризации и пироэлектрическому эффекту (ПЭ), это в свою очередь, приводит к дрейфу фазы светового сигнала в электрооптических модуляторах на НЛ. Для высокоточных приборов и датчиков возникающие паразитные эффекты могут привести к сбоям и ошибкам в их работе. Такая проблема может оказаться весьма серьезным препятствием для конструирования высокочувствительных интерферометрических схем, как например волоконно-оптический гироскоп, где требуется обеспечение стабильности фазы. Поэтому задача подавления или снижения вклада пироэлектрического эффекта становится весьма актуальной.

**Основная часть.** В работе представлено измерение дрейфа фазы в образце интегрально-оптического фазового модулятора, с волноводом изготовленным методом диффузии титана в кристалле НЛ Х-среза и электродами для обеспечения фазовой модуляции. Для регистрации сдвига фазы был собран волоконно-оптический интерферометр Маха-Цендера в одном плече которого устанавливался испытуемый образец, а во втором аналогичный фазовый модулятор для управления фазой сигнала. Оптическая схема была собрана с согласованием по «быстрой» поляризационной оси всех компонент интерферометра. В качестве источника излучения использовался высокостабильный одночастотный волоконный лазер ORION Laser Module на длине волны 1550 nm. Фотодетектор Thorlabs PDA10CS-EC подключался к системе DAQ на основе National Instruments cDAQ-9188, позволяющий одновременно считывать сигнал модуляции и фотодетектора, а модуль NI 9211 регистрировал сигнал температуры от термопары. Для регулирования процесса нагрева и охлаждения образец закреплялся на элементе Пельтье через термопрокладку Nomason КПТД-2М/3 толщиной 0,7 мм. Рядом с образцом на термопрокладке размещался горячий спай термопары, обеспечивая точное измерение температуры прокладки. Для минимизации вклада в ошибку регистрации фазы, вызванной температурными флуктуациями вся оптическая часть интерферометра помещалась в термобокс имеющий два изолированных отдела. В первый помещались два разветвителя, разъемы и модулятор, а во второй отдел помещался образец на элементе Пельтье, имеющий термоинтерфейс с оптическим столом для обеспечения возможности стабилизации температуры. Температура в помещении поддерживалась на уровне  $\pm 0,5$  градуса. На Пельтье подавался ток  $I=0.15$  А, напряжение  $U=2.2$  В, что вызывало, нагрев образца на  $\Delta T \approx 4^\circ\text{C}$ . Кинематика нагрева образца для данной системы не определена из-за отсутствия таких параметров как, скорость нагрева Пельтье, температурная емкость Пельтье в сборе с

керамическими пластинами и полупроводниковыми нагревателями, а также термопрокладки, которая приводит к затягиванию процесса нагрева. Был применен подход к разделению элементов системы на элементарные звенья. В данной системе управляемым объектом является элемент Пельтье, а прием сигнала производится по двум каналам – значения температуры на термопаре и сдвиг фазы. В рамках такого подхода процесс нагрева и реакции НЛ на нагрев можно разбить на блоки. Эти блоки представляют собой элементы динамических звеньев характеризующие физический процесс преобразования тепла в оптический сдвиг фазы с течением времени. Процесс нагрева таких элементов, как Пельтье, термопрокладка, горячий спай термопары и образец НЛ, описан переходной функцией позиционного апериодического звена 1-го порядка. Аналогичным образом при помощи 4-х звеньев описан дрейф фазы в образце под действием температурного изменения. Первое представляет собой изменение фазы за счет температурного расширения и эласто-упругого эффекта и в точности повторяют характер нагрева кристалла. Остальные три члена представляют собой дифференцирующие звенья с замедлением, поскольку описывают характер релаксации пирозарядов.

Серия экспериментальных результатов показала разделение вклада в сдвиг фазы между термо-оптическим, пироэлектрическим и эффектом изменения длины оптического пути за счет термического расширения. Были получены временные профили изменения температуры кристалла НЛ и сдвига фазы интерферометра для нескольких серий экспериментов. Обнаружено, что для «свободного» образца модулятора без модификаций по подавлению ПЭ эффекта изменение температуры приводит к аномальному некоррелированному изменению фазы. Однако, данный эффект удалось значительно снизить путем восстановительного отжига, а также путем закорачивания электродов между собой совместно с экранированием полярных граней токопроводящим компаундом. Показано, что повышение проводимости путем отжига образца НЛ в водородно-азотной смеси позволяет уменьшить пироэлектрический коэффициент в 2 раза в сравнении со «свободным» образцом модулятора без отжига.

**Выводы.** В ходе проведения исследования теоретически и экспериментально показано разделение вклада температурных эффектов, оказывающих воздействие на дрейф фазы световой волны в фазовом интегрально-оптическом модуляторе на НЛ. При нагреве образца наблюдается сдвиг фазы, однако для случая с КЗ изменение фазы имеет температурную зависимость близкую к линейной, а для случая с разомкнутыми электродами наблюдается аномальное изменение сдвига фазы, характер которого описывается временной характеристикой релаксации зарядов, возникающих на полярных гранях кристалла НЛ. Повышение проводимости путем отжига позволило эффективно подавить ПЭ эффект наряду с экранированием полярных граней токопроводящим компаундом.

Смирнова А.В.

Подпись

Аксарин С.М.

Подпись