

УДК 535.44
535.015
53.096

ВЛИЯНИЕ ПИРОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ЭФФЕКТА НА СДВИГ ФАЗЫ В $Ti:LiNbO_3$ МОДУЛЯТОРЕ

Смирнова А.В., Рогатюк А.Ю., Шулепов В.А.

Научный руководитель – к.ф.-м.н, Аксарин С.М.

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский университет ИТМО»

Экспериментальное исследование влияния пироэлектрического эффекта на волноводные свойства фазового модулятора на основе $Ti:LiNbO_3$ в схеме волоконного интерферометра Маха-Цендера. Обнаружено, что за счет возникающего поля при нагреве или охлаждении наблюдается паразитный сдвиг фазы сигнала. Показано разделение вклада в сдвиг фазы между термо-оптическим, пироэлектрическим и эффектом изменения длины оптического пути за счет термического расширения.

Введение. В настоящее время кристаллы $LiNbO_3$ являются наиболее используемыми в интегральной оптике материалами, применяемыми в волоконно-оптических линиях связи в качестве модуляторов амплитуды, частоты или фазы оптического излучения. Так например, для волоконно-оптических гироскопов (ВОГ) применяют схемы, работающие в качестве фазовых модуляторов. Известно, точность измеряемого сигнала ВОГ в значительной степени зависит от стабильности параметров фазового модулятора, при работе в нестабильных температурных условиях окружающей среды.

Выращиванию и исследованию кристаллов ниобата лития (НЛ) посвящено большое количество работ. Благодаря своей структуре $LiNbO_3$ обладает эффектом фотоупругости, эффектом Поккельса, пьезоэлектрическим эффектом, нелинейно-оптическими эффектами. Однако следует заметить, что работ направленных на изучение пироэлектрического эффекта оказывающего влияние на волноводные свойства титан-диффузионных канальных волноводов не достаточно для полного понимания эффекта и устранения его влияния. Поэтому целью данной работы стало изучение фазового сдвига световой волны при изменении рабочей температуры $Ti:LiNbO_3$ фазового модулятора. А также оценка вклада пироэлектрического эффекта в сдвиг фазы.

Основная часть. Для исследования влияния температурного изменения волноводных свойств в $LiNbO_3$ была построена экспериментальная установка на основе волоконно-оптического интерферометра Маха-Цендера (ИМЦ). Измерение сдвига фазы производилось в образце НЛ содержащего титан-диффузионные волноводы и электроды на поверхности для обеспечения фазовой модуляции. Такой образец модулятора предварительно был состыкован с двумя волоконно-оптическими разветвителями с сохранением поляризации для обеспечения высоко-контрастной интерференционной картины в составе ИМЦ. Данный образец помещался в термоизолированную камеру для изоляции от внешних воздействий и помещался на элемент Пельтье, на котором производился нагрев и охлаждение образца. Для точной оценки фазового сдвига во втором плече, также изолированном от температурных флуктуаций окружающей среды, находился фазовый модулятор. Вычисление сигнала фазы осуществлялось с помощью задания периодической модуляции по косинусному закону с последующим определением амплитуд первой и второй гармоник результирующего оптического сигнала и вычисления функции арктангенса, что обеспечивало точный расчет значения текущей рабочей точки интерферометра. В качестве источника излучения использовался высокостабильный когерентный волоконный лазер с длиной волны 1557 нм и дрейфом не превышающим 0,5 пм.

В работе рассматривались два случая, в одном из которых электроды модулятора исследуемого образца находились в разомкнутом состоянии, когда во втором случае электроды находились в состоянии короткого замыкания (КЗ).

В эксперименте, при нагреве или охлаждении наблюдается сдвиг фазы ИМЦ, причем для случая с КЗ изменение фазы имеет температурную зависимость близкую к линейной. А для случая разомкнутых электродов наблюдается аномальное изменение сдвига фазы, характер которого описывается временной характеристикой релаксации зарядов, возникающих на полярных гранях кристалла НЛ и имеющих постоянную времени релаксации около 600 с, которые приводят к возникновению электрического поля, что вызывает фазовый сдвиг за счет электрооптического эффекта в кристалле. Одновременно с тем в сигнале фазы регистрируются мгновенные скачки значения фазы вызываемых перераспределением зарядов между полярными гранями и электродами модулятора за счет миграции зарядов в сильном электрическом поле.

Как показал теоретический расчет, пирозлектрический эффект способен создавать внутри образца НЛ без электродов значения полей около 300 кВ/м при изменении образца на 1°C, а наличие электродов приводит к искажению распределения напряженности электрического поля внутри объема кристалла. Случай с разомкнутыми электродами приводит к чрезвычайно высоким напряженностям электрического поля (порядка 10^7 (В/м)/°С) в зазоре между электродами, где распространяется световая волна, что вызывает аномальное изменение фазового сдвига.

Выводы.

В работе показан вклад пирозлектрического поля оказывающий воздействие на сдвиг фазы световой волны в фазовом интегрально-оптическом модуляторе $Ti:LiNbO_3$, причем пирозлектрический сдвиг фазы наблюдается в обоих случаях с закороченными электродами, так и с разомкнутыми электродами. Также обнаружена миграция зарядов между полярными гранями и электродами в сильном пирозлектрическом поле. Теоретически и экспериментально показано разделение вклада температурных эффектов, приводящих к сдвигу фазы. А также дана оценка величине пирозлектрического коэффициента и времени релаксации пирозлектрических зарядов.

Смирнова А.В. _____

Аксарин С.М. _____