

УДК 539.25

ПЕРЕКЛЮЧЕНИЕ СЕГНЕТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ДОМЕНОВ В $Ti:LiNbO_3$ ФАЗОВЫХ МОДУЛЯТОРАХ ВСЛЕДСТВИЕ ПИРОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ЭФФЕКТА
Аксарин С.М. (Университет ИТМО), Смирнова А.В. (Университет ИТМО), Парфенов П.С.
(Университет ИТМО)

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

В работе представлены методы изучения доменов в межэлектродном зазоре фазовых модуляторов на основе сегнетоэлектрического кристалла ниобата лития при помощи различных видов микроскопии. Рассмотрены причины переключения сегнетоэлектрических доменов и их влияние на выходное излучение модулятора.

Введение. В настоящее время сегнетоэлектрические материалы, такие как ниобат лития (НЛ), нашли применение в качестве модуляторов фазы, амплитуды и частоты оптического излучения для волоконно-оптических линий связи. При их изготовлении используют монодоменизированную заготовку НЛ в виде булы, из которой нарезают пластины. Однако, в некоторых случаях гомогенность монодоменного кристалла может быть нарушена за счет ряда внешних воздействий на готовое изделие. В работе проведен ряд исследований, показавших существование игольчатых доменов в образцах фазовых модуляторов вдоль границ электродов и поляризаторов, что позволило судить о пироэлектрическом механизме образования доменов, а также дать количественную и качественную характеристику доменам.

Основная часть. Существует множество методов наблюдения доменов в сегнетоэлектриках, однако, некоторые из них используют дорогостоящее оборудование или не применимы для наблюдения к НЛ из-за наличия антипараллельных 180° доменов. Также, в нашем случае, некоторую сложность для наблюдения доменов вызывает ориентация кристалла X-среза исследуемых образцов. В представленной работе для анализа доменов использован разрушающий метод – анизотропное травление. В этом случае были удалены электроды и нарушен поверхностный слой, что в дальнейшем не позволяет использовать испытанные образцы повторно. Результаты травления наблюдались путем оптической микроскопии и конфокальной лазерной сканирующей микроскопии (CLSM). С помощью данного метода удалось получить визуализацию наличия доменов и их размеров по всей площади обрабатываемого образца. Обнаружено, что нарушения кристаллической структуры монодоменного НЛ наблюдаются вдоль линии края электрода и представляют собой линии, направленные вдоль оси Z кристалла. Также результаты травления показали, что в межэлектродном зазоре присутствуют образования игольчатых доменов, длина которых достигает гребня волновода. В альтернативу химическому травлению были использованы неразрушающие методы контроля: сканирующая электронная микроскопия (SEM) и атомно-силовая микроскопия (AFM). Исследование методом SEM показало возможность анализа наличия доменов в зонах вблизи электродов путем их предварительного заземления, что позволило избежать эффекта электронного насыщения поверхности НЛ и наблюдать различие между областями доменов разного знака. Однако, продолжительное наблюдение за доменами приводило к эффекту дополнительного заряда поверхности и к дальнейшему росту доменов в длину и ширину, что не позволяет использовать этот метод в дальнейшем. Второй метод, AFM, является традиционным методом анализа доменов в пьезоэлектриках с использованием проводящего зонда, при приложении переменного электрического сигнала, возбуждающего пьезо-отклик поверхности (PFM) образца. Домены разных знаков меняют фазу колебания поверхности под действием возбуждающего поля, что также позволяет регистрировать доменные стенки в сегнетоэлектриках. Исследование данным методом показало наличие большого числа доменов в межэлектродном зазоре, причем результаты позволили дать характеристику форме доменов на поверхности и степени переключения поляризации. Обнаружено, что на участке межэлектродного зазора присутствует полоса сплошного

заполнения встречными доменами вдоль края электрода. Это свидетельствует о том, что электрическое поле переключения поляризации существовало в этом месте длительное время и имел место сильный градиент поля вдоль оси Z и X , что привело к появлению большого числа игольчатых доменов и их последующей коалесценцией, что подтверждается теоретическим обоснованием и проведенным компьютерным моделированием.

Выводы. На основе литературных данных о природе доменного образования и результатах проведенных экспериментальных исследований можно утверждать, что в интегрально-оптических модуляторах на основе кристаллов LiNbO_3 формируются области с доменами обратного знака в поверхностном слое кристалла вдоль границ электродов вследствие пьезоэлектрического эффекта и имеющие форму игольчатых окончаний, направленных к середине межэлектродного зазора параллельно оси Z кристалла. Форма, размеры и количество доменов носят преимущественно случайный характер и определяются величиной напряженности пьезоэлектрического электрического поля, вызванного изменением температуры кристалла, а также наличием дефектов решетки в кристалле и неровностями края электродов, которые могут вызвать локальные искажения поля. Причем эффект повышения напряженности электрического поля на остриях и на выступах электродов приводит к увеличению длины и количества игольчатых доменов. Наличие доменов приводит к существованию электрооптической (ЭО) неоднородности в рабочем межэлектродном зазоре вследствие того, что игольчатые домены являются областью с ЭО эффектом обратного знака и могут вызывать снижение эффективности модуляции за счет чередования доменов с разной полярностью. Также игольчатые домены являются оптической неоднородностью показателя преломления, что может приводить к рассеянию и дифракции оптической моды канального волновода.

Смирнова А.В.

Подпись

Парфенов П.С.

Подпись

Аксарин С.М.

Подпись