

Сегнетоэлектрический измеритель мощности лазерного излучения.

Л.В. Григорьев¹, А.А.Семенов¹, А.Р.Юшков¹, А.В.Сандуленко²

¹Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ»

²АО «НПО ГОИ им. С.И. Вавилова»

Аннотация: в данной работе представлен результат разработки интеллектуального фотоприемного устройства (ФПУ) - измерителя мощности лазерного излучения, работающего в широком спектральном диапазоне от УФ до ИК и проведены исследования динамических и спектральных свойств различных первичных преобразователей лазерного излучения: пироприемника, сегнетоэлектрического микроболометра, сегнетоэлектрического фотоприемника с полевым управлением. Использование в ФПУ в качестве первичного преобразователя сегнетоэлектрического приемника ИК излучения позволило регистрировать мощность лазерного излучения в широкой спектральной полосе. В работе приведено сравнение по чувствительности и по быстродействию датчика, при использовании первичного преобразователя в режиме сегнетоэлектрического неохлаждаемого болометра, в режиме пироэлектрического приемника, в режиме фотоприемника с полевым управлением. Были проведены исследования керамических и кристаллических сегнетоэлектриков: ниобата лития, танталата лития, керамики ЦТСЛ и керамики ЦТС. В составе измерителя мощности лазерного излучения были применены ранее разработанные унифицированные модули сетевого интерфейса, что позволило интегрировать этот измеритель мощности в состав информационно-измерительного комплекса аттестации параметров излучения DPSS-лазеров и твердотельных фототропных затворов DPSS-лазеров. Представленный в работе измеритель мощности лазерного излучения позволяет использовать его в канале контроля излучаемой мощности лазерных технологических установок различного назначения.

Ключевые слова: сегнетоэлектрический приемник, пироприемник, неохлаждаемый микроболометр, сегнетокерамика, ЦТСЛ, ЦТС, ниобат лития, танталат лития, DPSS лазер, фототропный затвор лазера, измеритель мощности лазерного излучения.

1. Введение

Широкополосные тепловые приемники излучения на основе сегнетоэлектрических материалов, в настоящее время, широко применяются на практике [1-3]. Основная спектральная область их применения – ближняя и средняя ИК область. Эти приемники обладают всеми преимуществами приборов, изготовленных методами твердотельной планарной технологии.

Кроме того, развитие существующих технологий создания фотоприемников в область еще больших длин волн, вплоть до терагерцового диапазона, представляет несомненный интерес. Особенно перспективной является возможность построения многоэлементных планарных гиперспектральных приемников изображения для диапазона длин волн 1-1000 мкм. Широчайший спектральный диапазон таких приемников позволяет строить на их основе системы интеллектуального выделения признаков объекта от разнообразных фонов и помех за счет одновременного анализа информации от объекта в большом количестве спектральных диапазонов.

По сравнению фотонными и квантовыми приемниками дальнего ИК диапазона сегнетоэлектрические приемники имеют очевидные преимущества: в ширине спектрального диапазона, отсутствии необходимого охлаждения, относительно малую стоимость, устойчивость к внешним воздействиям (температура, ускорения, радиация

и т.д.), простоту и надежность применения [2,3,5].

Перспективы применения таких приемников широчайшие – от связной аппаратуры до медицинской диагностики. Возможности сегнетоэлектрических приемников к детектированию лазерных импульсных воздействий делает их весьма перспективными в лазерной технике: детектирование пространственных распределений в лазерных пучках, управление адаптивно настраиваемыми оптическими каналами транспортировки и фокусировки лазерного излучения, лазерной спектроскопии, лазерной нуклеонике.

В этой связи необходимо создание фотоприемного устройства, в котором неохлаждаемый сегнетоэлектрический сенсор интегрирован в схему усиления и обработки аналогового сигнала на высокопроизводительном вычислительном ядре. Наличие в составе фотоприемного устройства модуля сетевого интерфейса позволяет интегрировать разрабатываемое фотоприемное устройство в существующие промышленные сети или командно-информационные сети лаборатории или измерительного стенда.

Создание фотоприемного устройства в микромодульном исполнении или специализированной гибридной интегральной схеме (ГИС) с привлечением толстопленочной и тонкопленочной технологии позволит существенно уменьшить массогабаритные показатели. Использование цифровой обработки сигнала, поступающего с ИК сенсора и построение управляющего программного обеспечения фотоприемного модуля под управлением ОСРВ позволит использовать адаптивную цифровую фильтрацию и возможность цифрового декодирования входного ИК сигнала.

2. Подготовка образцов и экспериментальные результаты

В качестве первичных сегнетоэлектрических преобразователей были исследованы структуры из керамики цирконий-титан-свинец (ЦТС), керамики цирконий-титан-свинец легированной лантаном (ЦТСЛ), кристаллические структуры из танталата лития и ниобата лития и тонкопленочные структуры из ниобата лития. На поверхности сегнетоэлектрического материала наносились электроды: один из платины (тыльный), второй - проводящий из проводящей тонкой пленки SnO_2 . Из сегнетоэлектрических структур были сформированы первичные преобразователи: пироприемники с конденсаторной топологией и сегнетоэлектрические микроболометры.

Основной конструктивной схемой пироприемника была конденсаторная структура, где в качестве диэлектрика сформирован слой сегнетоэлектрика. В этом случае быстродействие сенсора при регистрации одиночного импульса ограничивается величиной единиц и долей наносекунд [4], что приближается к теоретическому пределу для такой конструктивной схемы. Для увеличения быстродействия и повышения величины обнаружительной способности первичного сегнетоэлектрического преобразователя были сформированы сенсоры по схеме фотоэлектрического прибора на полевом эффекте [5]. В работах [4-6] показана возможность построения сегнетоэлектрического приемника по схеме полевого транзистора МДП.

Выбор сегнетоэлектрических материалов для формирования ИК приемных структур был обусловлен высокой температурой Кюри этих материалов, что позволяло ожидать стабильности в обнаружительной способности в широком диапазоне рабочих температур.

Тонкие пленки ниобата лития были сформированы методом лазерной абляции мишени из кристаллического сегнетоэлектрика: танталата лития и ниобат лития. В качестве буферного диэлектрика между сегнетоэлектриком и слоем проводящего полупроводника был нанесен слой Y_2O_3 в диапазоне толщин 25 - 30 нм.

Измеренный пироэлектрический коэффициент ИК приемных структур (первичных преобразователей) из ниобата лития составлял 8.3 (нКл/см²К), для танталата лития он составлял 15.4 (нКл/см²К), для слоя ЦТСЛ 32.3 (нКл/см²К), для слоя ЦТС 18.6 (нКл/см²К).

Исследования спектральной зависимости обнаружительной способности D^* проводилось в полосе спектра 1.06 мкм – 3.5 мкм. Наименьшая величина обнаружительной способности D^* первичного преобразователя с ниобата лития составила $1.5 \cdot 10^9$ (см·Гц)^{0.5}/Вт, при использовании танталата лития эта величина была равна $4.2 \cdot 10^9$ (см·Гц)^{0.5}/Вт, а при применении ЦТСЛ обнаружительная способность составила $5.1 \cdot 10^9$ (см·Гц)^{0.5}/Вт, при применении ЦТС обнаружительная способность (D^*) составила $4.8 \cdot 10^9$ (см·Гц)^{0.5}/Вт.

Исследование динамических характеристик первичных сегнетоэлектрических преобразователей проводилось в полосе частот модуляции ИК лазерного излучения от 10 Гц до 10 МГц. В исследуемой полосе частот модуляции лазерного излучения граничная частота воспроизведения формы лазерного импульса составила для структур из ниобата лития и танталата лития составила 10 МГц. Для сегнетоэлектрических структур на основе керамики ЦТСЛ граничная частота воспроизведения формы лазерного импульса составила 28 кГц, и при применении ЦТС эта величина не превышала 23 кГц.

3. Заключение

Исследование спектральных и динамических свойств сегнетоэлектрических датчиков, построенных по различным топологиям и на основе различных сегнетоэлектрических материалов показало возможность их использования в качестве первичного неохлаждаемого быстродействующего сенсора ИК диапазона в полосе частот модуляции лазерного излучения от десятков килогерц до 10МГц. При смене материала слоя поглощения падающего излучения возможно применение таких датчиков для регистрации субмиллиметрового излучения.

Сравнение значений величины обнаружительной способности неохлаждаемых сегнетоэлектрических приемников со значениями D^* для неохлаждаемых тепловых приемников, показало перспективность построения быстродействующих неохлаждаемых приемников ИК излучения на сегнетоэлектриках. В случае применения кристаллических сегнетоэлектриков оптимальной будет топология конденсаторного пироприемника, а в случае использования керамических сегнетоэлектриков – оптимальной оказались топологии сегнетоэлектрического микроболометра или фотоприемника с полевым управлением.

Список литературы

1. Кременчугский Л.С. , Ройцина О.В., Пироэлектрические приемные устройства - Киев:Наукова Думка, 1982.
2. Валитов Р.А. и др. - Техника субмиллиметровых волн, М: Советское Радио, 1969.
3. Новик В.К., Гаврилова Н.Д., Фельдман Н.Б. Пироэлектрические преобразователи - М.: Советское Радио, 1979.
4. Abrams R.L, Woods O.R. Appl.Phys.Lett. – 1971 - v.19 - #12 - p.518.
5. Зуев В.А., Попов В.Г. Фотоэлектрические МДП-приборы – М.: Радио и Связь, 1983.
6. Агамалян Н.Р., Асланян Т.А, Вардянян Э.С. //Известия НАН Армении, Физика - 2013 - Т.48 - №2.