# УДК 535.44

# М.В. Чуманов, И.А. Паргачёв, И.В. Мокрушин, Л.Я. Серебренников, В.А. Краковский

# Акустооптические затворы на основе кристалла RKTP

Изготовлены прототипы акустооптических (АО) затворов на основе кристаллов RKTP в корпусе с жидкостным охлаждением и контролем рабочей температуры. Для изготовленных затворов измерены основные характеристики, такие как рабочая частота управляющего высокочастотного (ВЧ) сигнала (частотная характеристика), эффективность дифракции, коэффициент стоячей волны (КСВН) пьезопреобразователей на центральной рабочей частоте.

Ключевые слова: акустооптический затвор, кристалл RKTP.

doi: 10.21293/1818-0442-2016-19-4-78-80

Наиболее распространенным на сегодняшний день материалом для изготовления акустооптических (AO) затворов является плавленый кварц, поскольку имеет высокие значения порога оптического повреждения (10,5–10,6 ГВт/см<sup>2</sup>) и относительно широкую полосу пропускания (0,2–4 мкм). Максимальная акустическая скорость этого материала составляет  $5,95\cdot10^3$  м/с, коэффициент акустооптического качества  $1,56\cdot10^{-15}$  с<sup>3</sup>/кг [1]. Имеются также альтернативные материалы, но каждый из них имеет существенные недостатки, например узкую полосу оптического повреждения.

Высокоомные кристаллы КТіОРО<sub>4</sub> (RKTP) производства компании «Кристалл Т» имеют ряд преимущественных особенностей перед некоторыми АО-материалами, наиболее важными из которых являются высокие оптическая прочность (3 ГВт/см<sup>2</sup>) и коэффициент АО-качества  $(4,2\cdot10^{-15} \text{ c}^3/\text{кг})$ , относительно низкий коэффициент акустического затухания [2]. Полезным качеством RKTP является высокая скорость распространения акустической волны (~7,76·10<sup>3</sup> м/с) [3], что обеспечивает повышенное быстродействие АО-устройств. К прочим достоинствам кристаллов семейства КТР можно отнести следующие: негигроскопичность, высокая устойчивость к химическим и механическим повреждениям и достаточно широкая полоса прозрачности в диапазоне длин волн излучения 0,35-4,5 мкм.

Совокупность описанных выше параметров позволяет сделать вывод о том, что затворы на основе кристалла RKTP формируют более короткий фронт оптического импульса при неизменной апертуре оптического пучка и требуют меньшей мощности управляющего сигнала по сравнению с затворами на плавленом кварце. Эти особенности позволяют упростить конструкцию затвора и драйвера управления затвором.

#### Описание конструкции

Конструкция АО затвора включает в себя светозвукопровод, вырезанный из монокристалла RKTP, проводящий слой на поверхности z-среза кристалла, сформированный методом вакуумного распыления, две преобразовательные пластины из того же материала, что и светозвукопровод, или Y+36° – среза ниобата лития (LiNbO<sub>3</sub>). Поверх пластин нанесены металлические электроды из индия или алюминия. Пластины приварены к светозвукопроводу методом холодной диффузионной индиевой сварки противоположной друг относительно друга ориентацией доменов.

Электрическая схема пьезопреобразователя соответствует последовательному включению двух конденсаторов, между обкладками которых расположен пьезоэлектрический материал. За счет такого секционирования уменьшается емкостная составляющая нагрузки при относительно большой длине АО-взаимодействия. Пластинки излучают синфазные волны, создавая акустическое поле с плоским волновым фронтом, направленным нормально к оптической оси светозвукопровода. Описанный подход позволяет добиться лучшего согласования нагрузки с подводящей ВЧ-линией, тем самым повысить эффективность дифракции.

Оптимальная геометрия светозвукопровода выбрана, исходя из данных, приведенных в [4], и экспериментальных результатов по измерению фотоупругих постоянных и коэффициента акустооптического качества [2, 5–6]. Геометрия АО ячейки, ориентация вектора поляризации падающего на светозвукопровод лазерного пучка относительно кристаллографических осей, направления оптического и акустического пучков отображены на рис. 1.



Рис. 1. Конструкция акустооптической ячейки

Размеры светозвукопровода 23×8×8 мм<sup>3</sup> вдоль осей *X*, *Y* и *Z* соответственно. Размеры пластин

пьезопреобразователя в плоскости возбуждения 10×7 мм<sup>2</sup> и толщина 40–5 мкм. АО-ячейка помещена в металлический корпус с системой охлаждения. Через подводящие штуцеры циркулирует охлаждающая жидкость. В корпусе в непосредственной близости к светозвукопроводу установлена термопара и выведен разъем для контроля температуры. Внешний вид изготовленного затвора показан на рис. 2.



Рис. 2. Внешний вид затвора в корпусе с системой охлаждения

#### Описание экспериментальной установки

Экспериментальная установка (рис. 3) построена следующим образом. Генератор импульсов 1 запускает развертку осциллографа 4 и включает ВЧ-генератор 2. Далее усиленный ВЧ-сигнал поступает на затвор 5. Дифрагированное световое поле выделяется пространственным фильтром и фокусируется на ФЭУ, сигнал на выходе которого регистрируется осциллографом. Изображения осциллограмм сохраняются на ЭВМ.

В качестве источника излучения используется гелий-неоновый лазер 6, излучающий на длине волны 633 нм. Коллиматором 7 формируется пучок необходимого диаметра. Поляризатором 8 задается линейная поляризация, вектор которой ориентирован параллельно волновому фронту акустического пучка. Основной оптический пучок гасится непрозрачным экраном 9, дифрагированные пучки направляются на ФЭУ 13. Для снижения засветки от посторонних источников излучения устанавливается светофильтр 11.



Рис. 3. Схема экспериментальной установки: 1 – генератор импульсов АКИП-3301; 2 – ВЧ-генератор Agilient N5181B; 3 – ВЧ усилитель; 4 – осциллограф Tektronix TDS1012C-EDU; 5 – АО-затвор; 6 – лазер ЛГН 207А; 7 – коллиматор; 8 – поляроид; 9 – непрозрачный экран; 10 – собирающая линза; 11 – светофильтр; 12 – пространственный фильтр; 13 – ФЭУ

Измерения проводятся при малых мощностях высокочастотного сигнала, чтобы сохранить линейную зависимость эффективности дифракции от интенсивности акустического пучка и параметров затухания. А также при малых мощностях при дифракции Рамана–Ната интенсивность дифрагированного света сосредоточена в ± первом порядке дифракции.

Измеряются основные параметры, характеризующие работу затвора в качестве модулятора добротности, такие как рабочая частота управляющего ВЧ-сигнала (частотная характеристика), глубина модуляции (эффективность дифракции), быстродействие.

## Экспериментальные результаты

Описанные выше характеристики оценивались для АО-затворов с пьезопреобразователями на основе кристалла ниобата лития (*Y*+36°-срез) и кристалла RKTP (*Z*-срез).

Согласование пьезопреобразователей производилось посредством коаксиального трансформатора на ферритовом кольце. Для измерения частотной характеристики КСВН в измерительной схеме (см. рис. 3) вместо ВЧ-усилителя устанавливалась детекторная головка, к которой через длинный кабель соединялась исследуемая нагрузка. Детектирующий выход соединялся с измерительным входом осциллографа. ВЧ-генератор запускался в режиме качающейся частоты с верхней граничной частотой 120 МГц. Полученные диаграммы КСВН показаны на рис. 4. КСВН на центральных рабочих частотах составил 1,3–1,35.



Рис. 4. Частотные характеристики КСВН пьезопреобразователя на основе: *a* – RKTP, *б* – ниобата лития

Измерение частотной характеристики затвора проводилось по схеме на рис. 3. ВЧ-генератор запускался в режиме качающейся частоты с граничными частотами 20 и 80 МГц. Измеренные частотные характеристики отображены на рис. 5.

Максимальная эффективность дифракции при мощности управляющего сигнала 1 Вт составила 3 и 3,6% для пьезопреобразователей из RKTP и ниобата лития соответственно.



Рис. 5. Зависимость эффективности дифракции от частоты для пьезопреобразователей из RKTP и ниобата лития

Быстродействие затвора является параметром, зависящим от скорости акустической волны и апертуры оптического пучка. Для измерения фронта оптического импульса использовалась схема, аналогичная предыдущему эксперименту. Формировался супергауссов пучок, ВЧ-генератор запускался в импульсном режиме (длительность импульса 0,1 мкс, период повторения 5 мкс). Оценивалась длительность фронта для пучков диаметром 2–5 мм. Расхождение измеренных и расчетных значений не превышало 5%.

## Заключение

Изготовлены АО-затворы на основе кристаллов RKTP в корпусе с жидкостным охлаждением и контролем рабочей температуры.

Показана возможность изготовления эффективных АО-затворов, используя как для светозвукопровода, так и для пьезопреобразователей один и тот же материал – кристалл RKTP.

### Литература

1. Магдич Л.Н. Акустооптические устройства и их применение / Л.Н. Магдич, В.Я. Молчанов. – М.: Сов. радио, 1978. – 112 с.

2. Чуманов М.В. Исследование акустооптических характеристик кристалла RKTP / М.В. Чуманов, И.А. Паргачёв // Труды Всерос. конф. СНИИ. – Томск: Изд-во НТЛ, 2014. – С. 141–142.

3. Чуманов М.В. Измерение скорости распространения акустической волны в нелинейно-оптическом кристалле RKTP / М.В. Чуманов, И.А. Паргачёв // Труды Всерос. науч.-техн. конф. «Научная сессия ТУСУР». – Томск: В-Спектр, 2014. – Ч. 2. – С. 21–23.

4. Elastic and elastooptic properties of KTiOPO4 / I.I. Zubrinov, V.K. Sapozhnikov, E.V. Pestrykov and V.V. Atuchin // Fundamental Problems of Optoelectronics and Microelectronics. – June 16. 2003. – Vol. 249. – P. 249–254.

5. Устройства управления и преобразования лазерного излучения на основе кристаллов RKTP / М.В. Чуманов, И.А. Паргачёв и др. // Сб. науч. тр. 4-й Междунар. науч.техн. конф. по фотонике и информационной оптике. – М.: МИФИ, 2015. – С. 60–61.

6. Измерение фотоупругих коэффициентов кристалла RKTP методом статических деформаций / М.В. Чуманов, И.А. Паргачёв и др. // Доклады ТУСУРа. – 2015. – № 4 (38). – С. 91–94.

#### Чуманов Михаил Владиславович

Аспирант каф. электронных приборов (ЭП) ТУСУРа, инженер ООО «Кристалл Т» Тел.: 8-953-923-14-01 Эл. почта: mihail.chumanov@yandex.ru

#### Паргачёв Иван Андреевич

Аспирант каф. электронных приборов (ЭП) ТУСУРа, инженер ООО «Кристалл Т» Тел.: 8-913-114-47-70 Эл. почта: underfin@mail.ru

#### Мокрушин Игорь Владимирович

Инженер-конструктор ООО «Кристалл Т» Тел.: 8-923-404-75-53 Эл. почта: igor-mokrushin@yandex.ru

#### Серебренников Леонид Яковлевич

Канд. техн. наук, доцент каф. ЭП, заместитель директора ООО «Кристалл Т» Тел.: 8-953-912-83-53 Эл. почта: silver.47@mail.ru

## Краковский Виктор Адольфович

Д-р техн. наук, директор ООО «Кристалл Т» Тел.: 8 (382-2) 70-13-97 Эл. почта: kva@crystalt.org

## Chumanov M.V., Pargachev I.A, Mokrushin I.V., Serebrennikov L.Y., Krakovsky V.A. Acousto-optical Q-switches based on the RKTP crystal

Q-switches based on the RKTP crystals were created in the case with liquid cooling and control of working temperature. For the created Q-switches the main characteristics such as the working frequency of the operating high-frequency signal (the frequency range), efficiency of diffraction, standing wave factor of transducer at the central working frequency were measured.

Keywords: acousto-optical Q-switch, RKTP crystal.