УДК 534.8

И.А. Паргачёв, Ю.В. Кулешов, В.А. Краковский, Л.Я. Серебренников, С.М. Шандаров, А.А. Тик, А.Е. Мандель, Г.И. Шварцман

Промышленное производство сегнетоэлектрических и ферромагнитных оксидных кристаллов и создание устройств на их основе

Рассмотрена технология выращивания кристаллов KTP. Приведены свойства кристаллов KTP. Показаны перспективы использования высокоомных кристаллов KTP для электрооптики и нелинейной оптики. Приведены параметры элементов и устройств, производимых в ООО «Кристалл Т». Описаны свойства кристаллов феррогранатов и акустооптические устройства на основе кристаллов $LiNbO_3$.

Ключевые слова: технология выращивания, высокоомный кристалл KTP, элементы нелинейной оптики и электрооптики, электрооптический модулятор, кристаллы феррогранатов, акустооптические устройства.

Компания ООО «Кристалл Т» была создана в особой экономической зоне (ОЭЗ) г. Томска с целью организации промышленного производства сегнетоэлектрических и ферромагнитных оксидных кристаллов и структур на их основе для нелинейной оптики, лазерной техники и СВЧ-электроники. За короткий срок компания, используя более чем сорокалетний опыт сотрудников Томского университета систем управления и радиоэлектроники (ТУСУР), прошла стадию НИОКР и приступила к промышленному производству нелинейно-оптических кристаллов, оптических элементов и функциональных устройств на их основе.

Рис. 1. Установки для выращивания кристаллов методом раствор-расплавной кристаллизации

За четыре года в компании созданы: участок производства ростовых установок, лаборатория выращивания кристаллов (рис. 1), участок производства нелинейно-оптических элементов, оптическая лаборатория измерения и контроля параметров, участок нанесения проводящих и просветляющих покрытий.

В настоящее время мы выходим со своей продукцией на российский и европейский рынки. Главной продукцией являются нелинейно-оптические (НО) и электрооптические (ЭО) элементы и устройства на основе кристаллов $KTiOPO_4$ (KTP).

Основные достоинства наших материалов – большое электрическое сопротивление и стойкость к оптическому повреждению, что наиболее важно при использовании кристаллов в современных лазерах высокой мощности. Кроме того? большие линейные размеры высококачественных монокристаллов позволяют изготавливать из них высокоапертурные элементы.

Технология выращивания кристаллов. Выращивание крупных и оптически однородных монокристаллов KTP очень важно для создания преобразователей частоты лазерного излучения, устройств электрооптического управления излучением и оптической параметрической генерации, а также других применений, таких как, например, изготовление пластин для формирования структур на полосовых доменах (PPKTP) и оптических волноводов.

Выращивание кристаллов семейства KTP проводится методом раствор-расплавной кристаллизации на ориентированные затравки при температурах 1100÷800 °C. Свойства кристаллов в большой степени зависят от химического состава раствора, температурно-временных и динамических

условий роста. В процессе роста тщательно контролируются и изменяются несколько независимых параметров:

– скорость снижения температуры раствора-расплава;
– скорость вращения растущего кристалла;
– параметры реверсивного вращения;
– скорость вытягивания растущего кристалла;
– непрерывно контролируется масса растущего кристалла.

Скорости роста высококачественных кристаллов не превышают 0,5–1 мм/сут в различных кристаллографических направлениях. Для получения кристаллов массой 400–600 г, процесс роста проходит в течение 60–70 дней [1]. Фотографии выращенных кристаллов представлены на рис. 2.

Рис. 2. Кристаллы KTP

Кристаллы семейства KTP и устройства на их основе. Кристаллы семейства KTP – эффективные нелинейно-оптические и электрооптические кристаллы для видимого и инфракрасного диапазона длин волн, имеющие относительно низкую стоимость. Эффективные нелинейно-оптические коэффициенты KTP на длине волны 1064 нм в 1,5 раза превышают соответствующие нелинейно-оптические коэффициенты BBO [2]. Выращивание кристаллов семейства KTP на затравках, ориентированных в определенных кристаллографических направлениях, дает возможность получать полезный объем выращиваемого монокристалла 50×50×50 мм. При этом размер кристалла вдоль отдельных осей может достигать 100 мм и более миллиметров. Кристаллы, выращенные по такой технологии, имеют высокое электрическое сопротивление $10^{11} \div 10^{12}$ Ом×см. Экспериментальные исследования по генерации второй гармоники (SHG) излучения Nd:YAG лазера с длиной волны 1064 нм показали высокую стойкость монокристаллов KTP к оптическому повреждению, которая составляет величину 3000 МВт/см^2 для импульсного излучения с длительностью импульса 10 нс и частотой повторения 1 кГц. Элементы, изготовленные из кристалла KTP, представлены на рис. 3.

Электрооптические внутрирезонаторные затворы (ячейка Поккельса) на основе двух высокоомных кристаллов KTP предназначены для управления добротностью резонатора Nd:YAG лазера на длине волны 1064 нм с диаметром пучка до 8 мм. Технические характеристики устройств соответствуют требованиям большинства производителей лазеров с ЭО-модуляцией излучения (таблица). Активные элементы ЭО-затвора обладают высоким омическим сопротивлением, высокой лучевой прочностью и низкими оптическими потерями. ЭО-затвор может поставляться в комплекте с импульсным высоковольтным драйвером, обеспечивающим передний фронт отпирающего импульса не более 20 нс. Конструкция затвора обеспечивает точную ориентацию активных элементов в трех плоскостях [3].

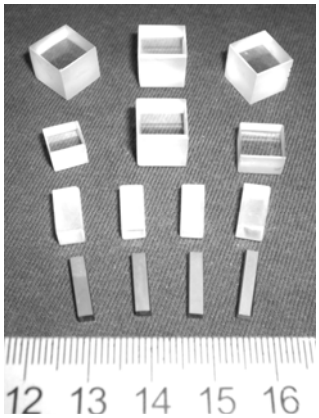

Рис. 3. Элементы из кристаллов KTP

Технические характеристики кристаллических элементов

Размеры (мм)	2×2×10, 4×4×10, 6×6×10, 8×8×10
Непараллельность торцов	Не более 15 угловых секунд
Качество обработки торцов кристаллов	Не хуже λ/4 для λ = 0,6328 мкм
Отражение от просветленной поверхности	≥ 0,15%
Лучевая прочность	3000 МВт/см^2
Удельная электропроводность	$10^{11} \div 10^{12}$ Ом$^{-1}$×см$^{-1}$

Рис. 4. Установка для выращивания монокристаллов феррогранатов

Кристаллы феррогранатов. В ООО «Кристалл Т» начаты работы по созданию производственной базы для выращивания кристаллов феррогранатов, разработаны установки (рис. 4). Ниже приведены свойства этих кристаллов.

Монокристалл железо-иттриевого граната (ИЖГ) – $Y_3Fe_5O_{12}$.

Параметры кристалла:

– намагниченность насыщения – 1750 Гс;

– температура Кюри – 275 °С;

– ширина линии ферримагнитного резонанса (ФМР) – 0,35 Э. Измерения линии ФМР проведены на сферических образцах размером ~0,5÷1 мм на частотах 9 и 5 ГГц.

Монокристалл иттрий-железо-галлиевого граната (ИЖГГ) – $Y_3Fe_{5-X}Ga_XO_{12}$, где $0{,}2<X<1{,}2$. В зависимости от степени замещения галлием железа:

– намагниченность насыщения – 1500÷200 Гс;

– температура Кюри – 245÷125 °С;

– ширина линии ферримагнитного резонанса (ФМР) – 0,6÷1 Э. Измерения линии ФМР проведены на сферических образцах размером ~0,5÷1 мм на частотах 0,6÷9 ГГц.

Кристаллы выращены на затравку из раствора-расплава Y_2O_3-Fe_2O_3-Ga_2O_3-BaO-B_2O_3 в управляемых режимах роста.

Акустооптические устройства. Коллектив компании имеет 40-летний опыт работы в области акустооптики (АО). Нами были разработаны и внедрены в серийное производство:

– лазерные АО-устройства анализа радиосигналов для комплекса пассивной радиолокации;

– панорамные приемники – частотомеры СВЧ-диапазона;

– моноимпульсные анализаторы спектра и типа модуляции;

– акустооптические модуляторы на основе монокристаллов иодата лития, ниобата лития, парателлурита и др. – работающие в диапазоне частот 0,1÷4 ГГц с полосой пропускания 0,02÷1 ГГц.

Литература

1. Выращивание и монодоменизация кристаллов семейства KTP / Ю.В. Кулешов, В.А. Краковский, Л.Я. Серебренников и др. // Доклады ТУСУРа. – 2011. – № 2 (24), ч. 2. – С. 112–115

2. Блистанов А.А. Кристаллы квантовой и нелинейной оптики: учеб. пособие для студентов. – М.: МИСИС, 2000. – 232 с.

3. Электрооптические модуляторы лазерного излучения на основе высокоомных кристаллов KTP / И.А. Паргачёв, Л.Я. Серебренников, А.Е. Мандель и др. // Доклады ТУСУРа. – 2011. – № 2 (24), ч. 2. – С. 116–118.

Паргачёв Иван Андреевич
Аспирант каф. электронных приборов (ЭП) ТУСУРа
Тел.: 8-913-862-6900
Эл. почта: underfin@mail.ru

Кулешов Юрий Валерьевич
Аспирант каф. ЭП
Тел.: 8-909-547-4349
Эл. почта: k_yuri_v@sibmail.com

Краковский Виктор Адольфович
Д-р техн. наук, профессор каф. телекоммуникаций и основ радиотехники (ТОР) ТУСУРа,
директор ООО «Кристалл Т»

Серебренников Леонид Яковлевич
Канд. техн. наук, доцент каф. ЭП

Шандаров Станислав Михайлович
Д-р физ.-мат. наук, профессор, зав. каф. ЭП

Тик Александр Августович
Конструктор, ИСЭ СОРАН, Томск

Мандель Аркадий Евсеевич
Д-р физ.-мат. наук, профессор каф. сверхвысокочастотной и квантовой радиотехники ТУСУРа

Шварцман Григорий Исаакович
Канд. техн. наук, доцент каф. ЭП

Pargachev I.A., Kuleshov Yu.V., Krakowsky V.A., Serebrennikov L.Ja., Shandarov S.M., Tik A.A., Mandel A.E., Schwartzman G.I.

Industrial production of ferroelectric and ferromagnetic oxide crystals and the creation of devices based on them

In the research we investigate the technology of KTP crystal growth and give the properties of KTP crystals. The prospects for the use of high resistance KTP crystals for electro-optics and nonlinear optics are shown. We list the parameters of elements and devices, produced by LLC «Crystal T». The properties of crystals ferrogarnet and acousto-optical devices based on $LiNbO_3$ crystal are described.
Keywords: technology of growing, high impedance KTP crystal, elements of nonlinear optics and electro-optics, electro-optic modulator, ferrogarnet crystals, acousto-optic devices.