

УДК 621.378.325

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

Электрооптические модуляторы лазерного излучения на основе высокоомных кристаллов КТiОРО₄

Представлены результаты исследований электрооптических (ЭО) модуляторов, изготовленных из высокоомных кристаллов КТiОРО₄ (КТР), выращенных в ООО «Кристалл Т». Измерены коэффициенты контрастности и коэффициенты эллиптичности поляризации лазерного излучения, прошедшего через ЭО-модулятор в максимуме и минимуме характеристики пропускания. Исследована зависимость измеренных коэффициентов от направления вектора поляризации входящего оптического пучка в модулятор.

Ключевые слова: электрооптический модулятор, кристалл КТР, высокоомный кристалл КТР, коэффициент контрастности, коэффициент эллиптичности.

Появление высокоомных кристаллов КТiОРО₄ (КТР) позволило использовать их для создания электрооптических (ЭО) модуляторов. Высокоомные кристаллы КТР обладают высокой оптической прочностью (до 3 ГВт/см²), негигроскопичны, имеют хорошую термическую и механическую стабильность при обработке, что выделяет их из ряда электрооптических кристаллов, таких как кристаллы KDP, ВВО, LiNbO₃ и др. Ближайшим аналогом высокоомных кристаллов КТР по электрооптическим параметрам является изоморфный ему кристалл RTP. Однако синтез кристаллов RTP более дорогостоящий. Кроме того, кристаллы RTP обладают недостаточной механической стабильностью.

Для нормальной работы электрооптического модулятора удельная электропроводность элементов, из которых он состоит, не должна превышать $10^{-8} \text{ Ом}^{-1}\cdot\text{см}^{-1}$, иначе в силу ионной проводимости кристаллов, при приложении высокого напряжения будет проявляться эффект электрохромной деградации материала. Удельная электропроводность исследуемых нами высокоомных кристаллов КТР лежит в пределах $10^{-11} - 10^{-12} \text{ Ом}^{-1}\cdot\text{см}^{-1}$ [1–4].

Коэффициент эллиптичности поляризации пучка лазерного излучения. Основным параметром ЭО-модулятора является коэффициент контрастности, который в свою очередь определяется коэффициентами эллиптичности поляризации лазерного излучения, прошедшего через ЭО модулятор в максимуме и минимуме характеристики [5].

Для корректного измерения коэффициента эллиптичности поляризации лазерного излучения, прошедшего через ЭО-модулятор, необходимо, чтобы угол вектора поляризации входящего в модулятор луча относительно кристаллографических осей элементов модулятора соответствовал углу, при котором величина контрастности максимальна. Этот угол в реальном модуляторе из двух монокристаллических элементов может отличаться от теоретических 45° относительно осей Y и Z (свет распространяется вдоль оси X).

Для измерения коэффициентов эллиптичности была собрана экспериментальная установка по схеме, представленной на рис. 1.

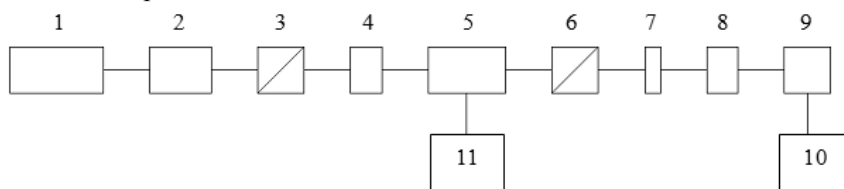
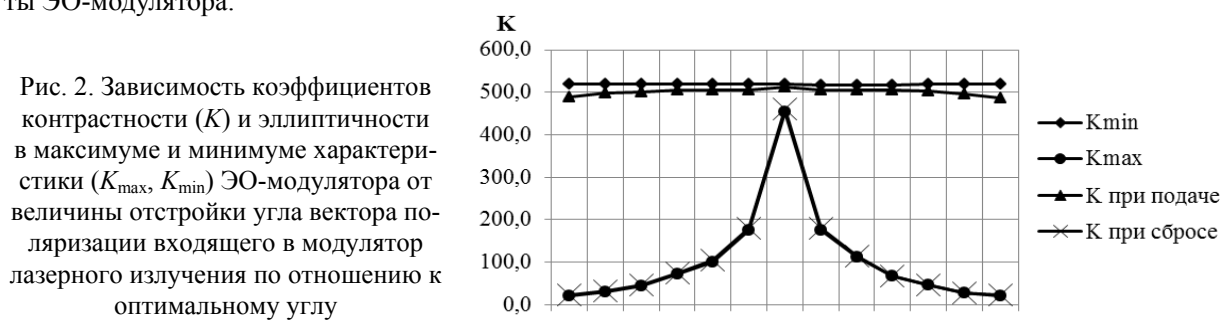


Рис. 1. Схема установки: 1 – лазер ($\lambda = 1064 \text{ нм}$); 2 – коллиматор; 3, 6 – призма Глана-Тейлора; 4, 8 – диафрагма; 5 – ЭО-модулятор; 7 – светофильтр; 9 – фотоприемник (ФД24-К); 10 – вольтметр (АКИП В-7-78/1); 11 – источник высокого напряжения (ИВН)

Во время настройки установки ЭО-модулятор вращается вокруг оптической оси с целью согласования направления вектора поляризации входящего оптического луча с оптимальным углом относительно кристаллографических осей модулятора. Отклонение от оптимального угла практически

не влияет на коэффициент эллиптичности в минимуме характеристики, однако коэффициент эллиптичности в максимуме характеристики, при отклонении на 1° , уменьшается на 60% (рис. 2). Коэффициент контрастности ЭО-модулятора в режиме работы, при котором приложенное управляющее напряжение открывает оптическую систему, по значению близок к коэффициенту эллиптичности в минимуме характеристики и слабо зависит от отклонения направления вектора поляризации входящего оптического пучка от оптимального угла. В режиме работы, при котором открытие оптической системы происходит при сбрасывании управляющего напряжения, по значению близок к коэффициенту эллиптичности в максимуме характеристики, вследствие чего отклонение направления вектора поляризации входящего оптического пучка от оптимального угла критично для такого режима работы ЭО-модулятора.



Измерения коэффициентов эллиптичности в минимуме характеристики пропускания производились на модуляторах с сечением элементов 6×6 мм и с сечением элементов 8×8 мм (рис. 3). Модулятор устанавливался в экспериментальной установке между скрещенными поляроидами (призмами Глана–Тейлора) в положение, при котором интенсивность проходящего призму (б) света минимальна, фиксировалось значение фототока на фотоприемнике (9). Далее призма (б) поворачивалась на 90° вокруг оптической оси и фиксировалось второе значение фототока на фотоприемнике. Отношение второго и первого значения фототока является коэффициентом эллиптичности в минимуме характеристики пропускания ($K_{\min} = I_2/I_1$).

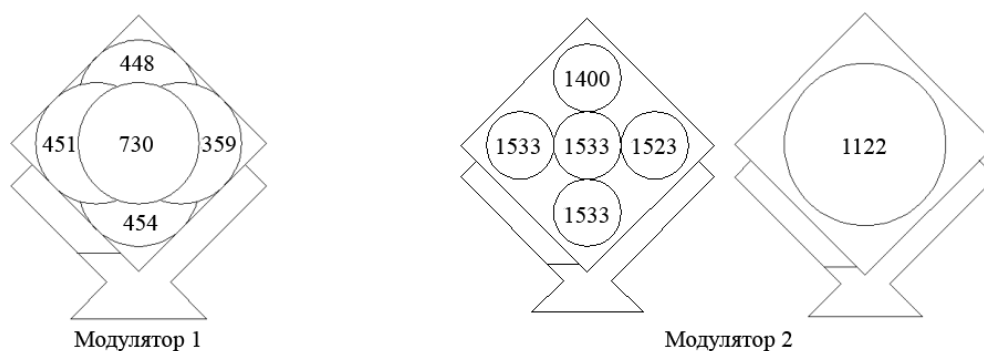


Рис. 3. Коэффициенты эллиптичности в сечении модулятора 1 (сечение элементов 6×6 мм, диаметр пучка 4 мм) и модулятора 2 (сечение элементов 8×8 мм, диаметр пучка 3 мм и 7 мм) в минимуме характеристики пропускания

При измерении коэффициентов эллиптичности в максимуме характеристики пропускания (рис. 4) модулятор устанавливался в экспериментальной установке, как при измерении коэффициентов эллиптичности в минимуме характеристики. К элементам прикладывалось полуволновое напряжение и фиксировалось значение фототока на фотоприемнике (9). Далее призма (б) поворачивалась на 90° вокруг оптической оси и фиксировалось второе значение фототока на фотоприемнике. Отношение первого и второго значения фототока является коэффициентом эллиптичности в максимуме характеристики пропускания ($K_{\max} = I_1/I_2$).

Все элементы вырезаны из одного кристалла, непараллельность оптических граней не превышает 15 угловых секунд. На оптические грани элементов нанесены просветляющие покрытия для длины волны $\lambda = 1064$ нм. При открытии оптической системы ЭО-модуляторы пропускали порядка 98% излучения. Максимальный угол отворота модуляторов от оптической оси не превышал 1° .

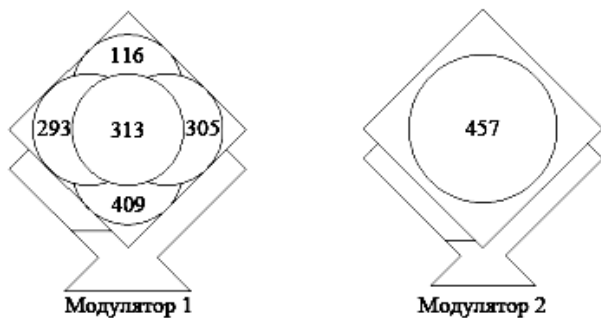


Рис. 4. Коэффициенты эллиптичности в сечении модулятора 1 (сечение элементов 6×6 мм, диаметр пучка 4 мм) и модулятора 2 (сечение элементов 8×8 мм, диаметр пучка 7 мм) в максимуме характеристики пропускания

Высокие коэффициенты эллиптичности в разных зонах элементов указывают на то, что высокоомные кристаллы КТР обладают достаточной однородностью для получения высоких характеристик ЭО-модуляторов с сечением элементов 6×6 и 8×8 мм по осям Y и Z соответственно. Значения контрастности всех исследованных модуляторов (сечением 4×4, 6×6 и 8×8 мм), при диаметре пучка, соответствующего эксплуатационному, не ниже 23 дБ как для режима модуляции при подаче управляющего напряжения, так и для режима модуляции при сбросе напряжения, что соответствует требованиям большинства производителей лазеров с ЭО-модуляцией излучения.

Конструкция модулятора. Как было сказано выше, для ЭО-модулятора на основе кристаллов КТР критично направление вектора поляризации входящего оптического пучка. Для возможности настройки положения элементов в оптической линейке был разработан корпус, позволяющий юстировать элементы в трех пространственных осях (рис. 5). Элементы вклеиваются токопроводящим клеем в оправу, позволяющую юстировать элементы между собой. Оправа с элементами фиксируется в сферическую часть конструкции, которая позволяет настраивать необходимые углы в оптической системе. Сфера в корпусе фиксируется прижимным кольцом.

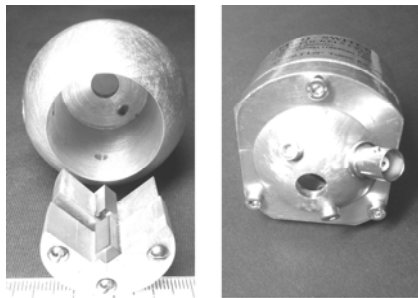


Рис. 5. Юстируемый корпус ЭО модулятора

Разработанная конструкция защищает элементы от механического воздействия. Разъем BNC, жестко закрепленный на корпусе, предотвращает отрыв контактов от элементов модулятора и позволяет производить модуляцию на больших частотах.

Литература

1. Электрооптические модуляторы лазерного излучения на основе высокоомных кристаллов КТР / И.А. Паргачёв, Л.Я. Серебренников, А.Е. Мандель и др. // Доклады ТУСУРа. – 2011. – Т. 24, № 2. – Ч. 2. – С. 116–118.
2. Применение модуляторов на кристаллах КТР в Nd:YAG-лазерах с высокой средней мощностью / В.А. Русов, В.А. Серебряков, А.Б. Каплун, А.В. Горчаков // Оптический журнал. – 2009. – Т. 76, № 6. – С. 6–7.
3. Электрохромный эффект в кристаллах титанат-фосфата / В.В. Лемешко, В.В. Обуховский, А.В. Стоянов и др. // Укр. физич. журнал. – 1986. – Т. 31, № 11. – С. 1747–1750.
4. Кристаллы семейства КТР [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://crystal.ru/index.php/ru/productsru/24-crystals1ru>, свободный (дата обращения: 11.09.2012).
5. ГОСТ Р 51036-97. Элементы электрооптические. Методы измерения электрооптических параметров [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://vsegost.com/Catalog/27/27712.shtml>, свободный (дата обращения: 11.09.2012).

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.

Electro-optic modulators of laser radiation on the basis of high-resistance KTiOPO_4 crystals

In the paper there are shown the results of investigations of electro-optic (EO) modulators, made of high-resistance KTiOPO_4 (KTP), crystals grown in LLC «Crystal T». We measured contrast ratio and axial ratio of the polarization of the laser beam passing through the EO modulator at the maximum and minimum transmission characteristics? and investigates the dependence of the measured coefficients on the direction of polarization of the input optical beam to the modulator.

Keywords: electro-optic modulator, KTP crystal, high-resistance KTP crystal, contrast ratio, ellipticity coefficient.