

# КРИСТАЛЛ КТР КАК НОВЫЙ МАТЕРИАЛ ДЛЯ ФОТОУПРУГОГО МОДУЛЯТОРА

Хамоян А.Г.<sup>1</sup>, Веденяпин В.В.<sup>2</sup>, Журков С.А.<sup>3</sup>

Email: Khamoyan1794@scientifictext.ru

<sup>1</sup>Хамоян Аваг Гургенович – младший научный сотрудник;

<sup>2</sup>Веденяпин Виталий Николаевич - научный сотрудник;

<sup>3</sup>Журков Сергей Александрович - научный сотрудник,

Институт геологии и минералогии,

Сибирское отделение Российской академии наук, г. Новосибирск

**Аннотация:** гармоническое напряжение с резонансной частотой 771.3кГц, приложенное к пьезоэлектрическому КТР (KTiOPO4) кристаллу, формирует механические колебания в материале. Вследствие этого в кристалле возникает искусственное двойное лучепреломление из-за фотоупругого эффекта. При наличии поляризатора и анализатора проходящее через кристалл излучение модулируется. Измеренное полуволновое напряжение модулятора для излучения с длиной волны  $\lambda = 1079$  нм составило 12В, а для излучения с длиной волны  $\lambda = 632$ нм составило 6В.

**Ключевые слова:** фотоупругий модулятор, кристалл КТР, пьезоэлектрики, лазеры.

## CRYSTAL KTP AS A NEW MATERIAL FOR THE PHOTOELASTIC MODULATOR

Khamoyan A.G.<sup>1</sup>, Vedenyapin V.N.<sup>2</sup>, Zhurkov S.A.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Khamoyan Avag Gurgenovich - Junior Researcher;

<sup>2</sup>Vedenyapin Vitaliy Nikolaevich – Researcher;

<sup>3</sup>Zhurkov Sergey Alexandrovich - Researcher,

INSTITUTE OF GEOLOGY AND MINERALOGY

SIBERIAN BRANCH OF THE RUSSIAN ACADEMY OF SCIENCES, NOVOSIBIRSK

**Abstract:** a harmonic voltage with a resonant frequency of 771.3 kHz applied to a piezoelectric KTP (KTiOPO4) crystal forms mechanical vibrations in the material. As a consequence, an artificial birefringence arises in the crystal due to the photoelastic effect. In the presence of a polarizer and an analyzer, the radiation passing through the crystal is modulated. The measured half-wave modulator voltage for radiation with a wavelength  $\lambda = 1079$  nm was 12V, and for radiation with a wavelength  $\lambda = 632$ nm it was 6V.

**Keywords:** photoelastic modulator, KTP crystal, piezoelectrics, lasers.

УДК 535.551,535.45,535.012

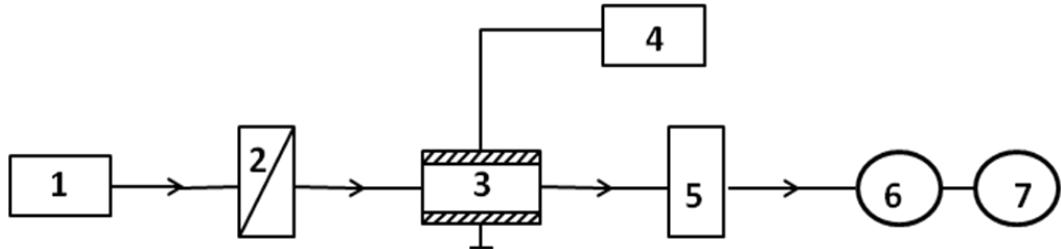
### Введение

В прошлом фотоупругие модуляторы состояли из пьезоэлектрического преобразователя, на них устанавливались фотоупругие кристаллы. На пьезоэлектрический преобразователь подавалось напряжение с частотой пьезорезонанса, которое вызывало деформацию в фотоупругих кристаллах[1]. Принцип действия двулучепреломляющего модулятора на эффекте фотоупругости такой же, что и на электрооптическом эффекте. В последние годы в литературе описывается новый тип фотоупругого модулятора на кристаллах, обладающего значительным пьезоэффектом. Напряжение с частотой пьезорезонанса подается непосредственно на кристалл, вследствие пьезоэффекта в кристалле возникает механическое колебание. В работах [2 - 5] описан однокристальный фотоупругий модулятор на основе кристаллов LiNbO<sub>3</sub>, LiTaO<sub>3</sub> и на кристалле ВВО. Известно, что эти кристаллы обладают хорошими электрооптическими свойствами [6] и работают в электрооптических модуляторах. По данным авторов [2 - 5] напряжение управления фотоупругого модулятора на два порядка меньше, чем напряжение управления электрооптического модулятора на этих же кристаллах. Это является очевидным преимуществом по сравнению с электрооптическими модуляторами, тем более на больших длинах волн, где требуется несколько киловольт напряжения управления. Но и имеется недостаток - модуляторы данного типа работают только на резонансных частотах, перестройки частот допустимы только в узком диапазоне частот [7]. Что касается кристалла КТР, в литературе аналогичных работ не обнаружено. Нами проводилось исследование кристалла КТР как нового материала для фотоупругих модуляторов.

Кристаллы титанил-фосфата калия КТиОРО 4 (КТР) благодаря высоким нелинейно-оптическим, электрооптическим и пьезоэлектрическим свойствам используются для электрооптической модуляции лазерного излучения. Кристаллы КТР обладают высокой оптической однородностью, низкими потерями и относительно высоким порогом оптического разрушения (превышает 600 МВт /см<sup>2</sup>) [10]. Такие кристаллы имеют среднее значение коэффициента электромеханической связи и средний

пьезоэлектрический коэффициент [9], что позволяет использовать их для электрооптических модуляторов в мегагерцовом диапазоне частот. Однако высокая ионная проводимость ( $10^{-6} - 10^{-8} \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{см}^{-1}$ ) [9, 10] вдоль оси z кристалла ограничивает использование монокристаллов КТР в электрооптике из-за электрохромной деградации кристаллов в электрических полях [10 - 12]. Поскольку фотоупругие модуляторы управляются низковольтными напряжениями, то в кристалле электрохромная деградация не возникает.

Для исследования характеристики данного кристалла как фотоупругого модулятора кристалл был ориентирован параллельно главным кристаллофизическими осям x, y, z, при этом использовался кристалл КТР с размерами  $20 \times 4 \times 4$ . Излучение в кристалле КТР распространялось вдоль оси x, а управляющее напряжение прикладывалось вдоль оси z. Направление поляризации излучения составляло угол  $45^\circ$  с осями y и z. В качестве источника излучения использовались два лазера Не-Не( $\lambda=632\text{нм}$ ) и лазер ИАП: Nd( $\lambda=1079\text{нм}$ ). Оба лазера работали на низких мощностях на основной моде(TE<sub>00</sub>), чтобы уменьшить тепловое воздействие в модулируемом кристалле. Излучение диаметром 1 мм направлялось через четвертьволновую пластинку на кристалл КТР. Измерялось полуволновое напряжение модулятора на данных длинах волн. Экспериментальная схема установки для измерения полуволнового напряжения представлена на рис. 1.



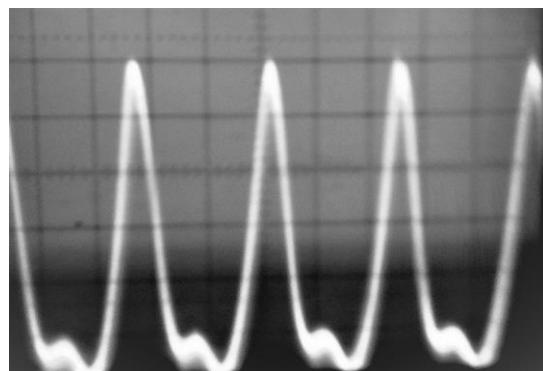
*Рис. 1. Экспериментальная схема для измерения полуволнового напряжения модулятора:*

1 - лазер; 2 - четвертьволновая пластина; 3 - кристалл КТР;

4 - генератор Г4-154; 5 - поляризатор;

6 - фотоприемник ЛФД-2; 7 - осциллограф

В качестве источника излучения использовались оба лазера. Синусоидальное напряжение с частотой 771.3 кГц, которое является для кристалла КТР основной резонансной частотой, подавалось от высокочастотного генератора (Г4-154). При наличии на кристалле управляющего напряжения в кристалле возникает механическое колебание, т.е. кристалл деформируется, эта деформация и управляет двойным лучепреломлением. Осциллограмма оптических импульсов приводится на рис. 2. Длительность импульсов составляет около 250 нс.



*Рис. 2. Осциллограмма оптических импульсов*

Измерялось полуволновое напряжение, оно составило 6В на длине волны  $\lambda = 632$  нм и 12В на длине волны  $\lambda = 1079$  нм.

#### Заключение

Нами исследован кристалл КТР как материал для фотоупругого модулятора. Показано, что в этом качестве кристалл КТР имеет очевидные преимущества по сравнению с кристаллами точечной группы симметрии 3m. Далее проделано сравнение характеристик кристалла КТР в качестве материала для фотоупругого и электрооптического модулятора. Напряжение управления для кристалла КТР в фотоупругом модуляторе на два порядка меньше, чем в электрооптическом модуляторе. При таких напряжениях в кристалле КТР не возникают электрохимические эффекты, что весьма существенно повышает срок службы кристалла как фотоупругого модулятора.

### *Список литературы / References*

1. *Мустель Е.Р., Паригин В.Н.* Методы модуляции и сканирования света. Наука, 1970. 295 с.
2. *Bammer Ferdinand and Petkovsek Rok.* Q-switching of a fiber laser with a single crystal photo-elastic modulator . Optics Express, 2007. Vol. 15, Issue 10. P. 6177 - 6182.
3. *Petkovsek Rok, Saby Julien, Salin Francois, Schumi Thomas, and Bammer Ferdinand.* SCPEM-Q-switching of a fiber-rod-laser. Optics Express, 2012. Vol. 20, Issue 7, P. 7415 - 7421.
4. *Bammer Ferdinand, Holzinger Bernhard and Schumi Thomas.* Time multiplexing of high power laser diodes with single crystal photo-elastic modulators. Optics Express, 2006. Vol. 14, Issue 8. P. 3324 - 3332.
5. *Bammer F.; Schumi T. and Petkovsek R.* "A new material for single crystal modulators: BBO". Proc. SPIE 8080, Pathway.
6. *Яриев А.* Квантовая электроника. М. Сов. Радио, 1980. 488 с.
7. *Bierlen J.D., Vanherzele H.* Potassium Titanyl Phosphate: Properties and New Applications // JOSA. B., 1989. V. 6. № 4. P. 622 - 633.
8. *Ebbers C.A., Velsko S.P.* High Average Power KTiOP O4 electrooptic Q - switch // Appl. Phys. Lett., 1995. V. 67. № 5. P. 593 - 595.
9. *David K.T.Chu, Bierlein D., Hunsperger G.* Piezoelectric and Acoustic Properties of (KTP) and Its Isomorphs. IEEE Ferroelectrics and Frequency. Vol 39. № 6, November 1992.
10. *Русов В.А., Серебряков В.А., Каплун А.Б., Горчаков А.В.* Применение модуляторов на кристаллах КТР в Nd : YAG - лазерах с высокой средней мощностью // Оптический журнал, 2009. Т. 76. № 6.
11. *Roth M., Tseitlin M., Angert N.* Oxide Crystals for Electro - Optic Q - Switching of Lasers // Glass Physics and Chemistry, 2005. V. 31. № 1. P. 86 - 95.