

КРИСТАЛЛ КТР КАК НОВЫЙ МАТЕРИАЛ ДЛЯ ФОТОУПРУГОГО МОДУЛЯТОРА

Хамоян А.Г.¹, Веденяпин В.В.², Журков С.А.³

Email: Khamoyan1794@scientifictext.ru

¹Хамоян Аваг Гургенович – младший научный сотрудник;

²Веденяпин Виталий Николаевич - научный сотрудник;

³Журков 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 (КТiОРО4) 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.¹, Vedenyapin V.N.², Zhurkov S.A.³

¹Khamoyan Avag Gurgenovitch - Junior Researcher;

²Vedenyapin Vitaliy Nikolaevich – Researcher;

³Zhurkov 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 однокристалльный фотоупругий модулятор на основе кристаллов LiNbO₃, LiTaO₃ 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 КТiОРО 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 /см²) [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 сориентирован параллельно главным кристаллофизическим осям x, y, z, при этом использовался кристалл КТР с размерами 20x4x4. Излучение в кристалле КТР распространялось вдоль оси x, а управляющее напряжение прикладывалось вдоль оси z. Направление поляризации излучения составляло угол 45° с осями y и z. В качестве источника излучения использовались два лазера He-Ne($\lambda=632\text{нм}$) и лазер ИАП: Nd($\lambda=1079\text{нм}$). Оба лазера работали на низких мощностях на основной моде (TE_{00}), 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.

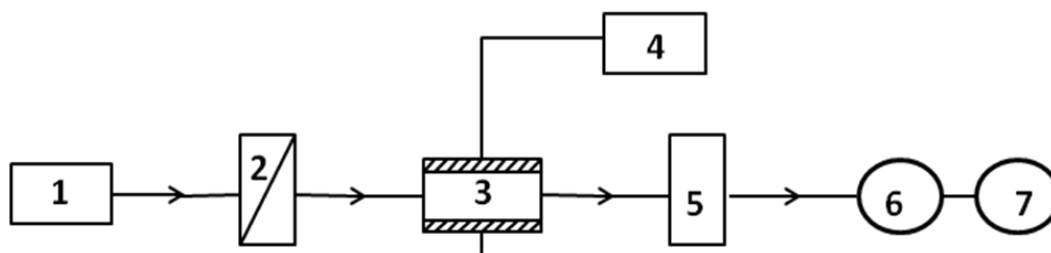


Рис. 1. Экспериментальная схема для измерения полуволнового напряжения модулятора:

1 - лазер; 2 - четвертьволновая пластинка; 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 771.3кГц, 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.

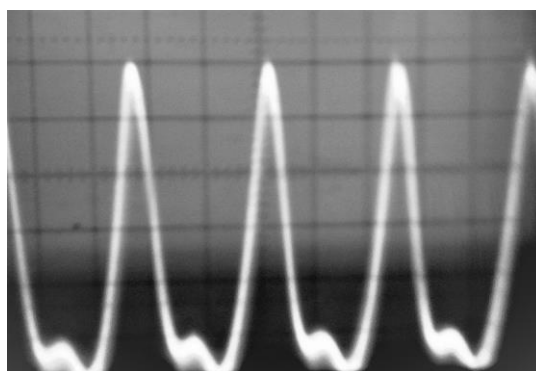


Рис. 2. Осциллограмма оптических импульсов

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

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. Petkovšek 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. Яриш А. Квантовая электроника. М. Сов. Радио, 1980. 488 с.
7. Bierlein J.D., Vanherzeele 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. Pizeoelectric 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.