

ТЕМПЕРАТУРНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ЧАСТОТ КРИСТАЛЛА КТП

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

Email: Khamoyan1798@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: в работе проводилось исследование зависимости поведения резонансных частот от температуры кристалла. Описана температурная характеристика частот кристалла КТП (КTiOPO₄) при резонансных частотах. Измерена зависимость упругих и пьезоэлектрических постоянных от температуры кристалла. Упругий модуль C_{33} и d_{33} и пьезоэлектрический коэффициент исследуются в широком температурном диапазоне. Также найден диапазон температур, при котором пьезоэлектрический эффект максимален. Величина диэлектрической постоянной измерялась при комнатной температуре.

Ключевые слова: упругость, кристалл КТП, пьезоэлектрики.

TEMPERATURE CHARACTERISTIC OF THE FREQUENCIES OF THE KTP CRYSTAL

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: we investigated the dependence of behavior of the resonance frequencies on the crystal temperature. The temperature characteristic of the frequencies of the KTP (KTiOPO₄) crystal at resonant frequencies is described. The dependence of the elastic and piezoelectric constants on the crystal temperature is measured. The elastic modulus C_{33} and d_{33} of the piezoelectric coefficient are investigated over a wide temperature range. Also a temperature range is found at which the piezoelectric effect is maximized. The value of the dielectric constant was measured at room temperature.

Keywords: elasticity, KTP crystal, piezoelectric.

УДК 538.69:539.124

Введение

Кристалл КТП (КTiOPO₄) является хорошим нелинейно оптическим, электрооптическим и пьезоэлектрическим кристаллом. Диэлектрические, пьезоэлектрические и упругие свойства были исследованы при комнатной температуре методом резонанса-антирезонанса, результат приводится в работе [1]. Температурная зависимость этих свойств в широком диапазоне температур (от 20⁰С-150⁰ С) была исследована методом ультразвуковой спектроскопии, результат описан в работе [2]. Но диапазон температур, при котором пьезоэффект максимален, в литературе не описан. Цель данной работы - найти температурный диапазон, при котором пьезоэффект максимален, а также исследовать зависимость частотной характеристики от температуры. Нами был использован метод резонанса-антирезонанса [3, 4].

Методика эксперимента.

Кристаллы КТП (КTiOPO₄) принадлежат к точечной группе mm2 [1, 2], их пьезоэлектрическая матрица содержит 5 пьезомодулей, 9 упругих коэффициентов и 3 диэлектрические постоянные. Исследовались пьезосвойства кристалла в температурном диапазоне от -10⁰С до +50⁰С. Диэлектрическая постоянная предварительно измерялась при низких частотах при комнатной температуре. Экспериментальная схема приводится на рис. 1.

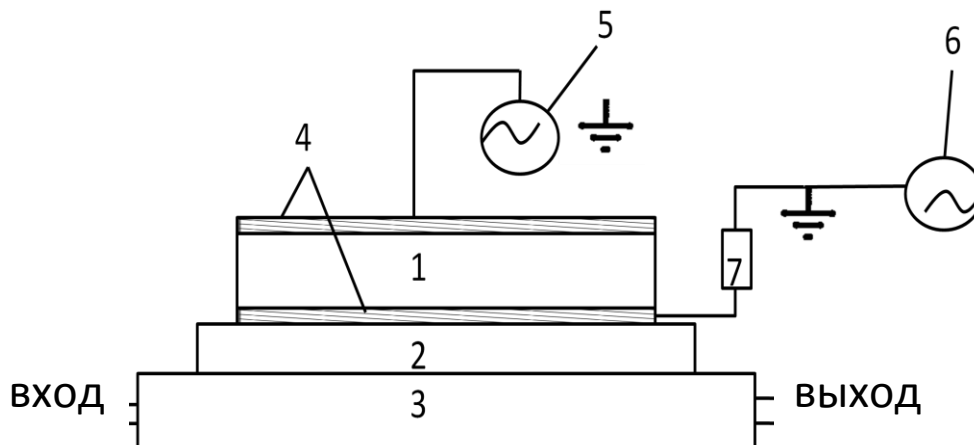


Рис. 1. Экспериментальная схема: 1- Кристалл КТР; 2 – модуль Пельтье; 3 – металлический охладитель; 4 – электроды; 5 – генератор Г4-154; 6 – осциллограф; 7 – сопротивление $R = 700 \text{ Ом}$

Для исследования характеристик кристалл был сориентирован параллельно главным кристаллофизическим осям X, Y, Z, при этом использовался кристалл КТР с размерами 20x4x4. Кристалл с электродами и термопарой был установлен на модуль Пельтье, последний, в свою очередь, установлен на металлическом охладителе, который охлаждался проточной водой. С помощью такой системы были достигнуты вышеуказанные температуры. Частоты резонанса и антирезонанса задавались высокочастотным генератором сигнала Г4-154. Измерения частот резонанса и антирезонанса производились при нагреве образца под полем, максимальная величина которого составила $E = 2,5 \text{ кВ/м}$ (10В). Расчеты производились по известным соотношениям [1, 3, 4].

$$k^2 = \frac{\pi^2 \Delta f}{4 f_r}; \text{ где } \Delta f = f_r - f_a; \quad d_{33} = k \sqrt{\epsilon_{33} C_{33}}, \quad (1)$$

где k – коэффициент электромеханической связи; f_a , f_r – антирезонансная и резонансная частоты соответственно; d_{33} – пьезокоэффициент; C_{33} – модуль упругой жесткости; ϵ_{33} – диэлектрическая проницаемость; l – толщина образца; ρ – плотность.

Экспериментальный результат. В ходе эксперимента измерялись указанные выше постоянные вдоль Z, поскольку в данном направлении кристалл обладает наибольшим пьезокоэффициентом, что значимо при применении данного кристалла как пьезопреобразователя. По полученным данным были рассчитаны модуль упругой жесткости C_{33} и пьезокоэффициент d_{33} . Также для этих величин построены температурные зависимости (Рис. 2).

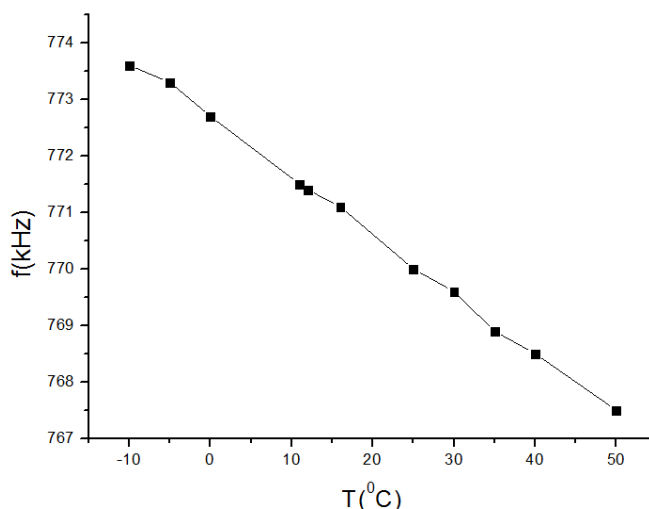


Рис. 2. Зависимость температуры от частоты

С помощью данного графика определялась температурная характеристика частот по формуле [5]:

$$f_T = \frac{\Delta f}{\Delta T} \frac{1}{f_r}, \quad (2)$$

где $\Delta f = f_1 - f_2$; f_1 – резонансная частота при -10°C ; f_2 – резонансная частота при 50°C ; f_r – резонансная частота при комнатной температуре 20°C ; $\Delta T = T_1 - T_2$ – разность температур при резонансных частотах.

Подставляя данные для температурной зависимости частот, получим:

$$f_T = 1,3 * 10^{-4} \frac{1}{\square}, \quad (3)$$

Также исследовалась температурная зависимость пьезоэлектрической константы (d_{33}) и коэффициента упругой жесткости (C_{33}). Их зависимость от температуры и от электрического напряжения, которое подавалось на кристалл, приводятся на Рис. 3 и Рис. 4.

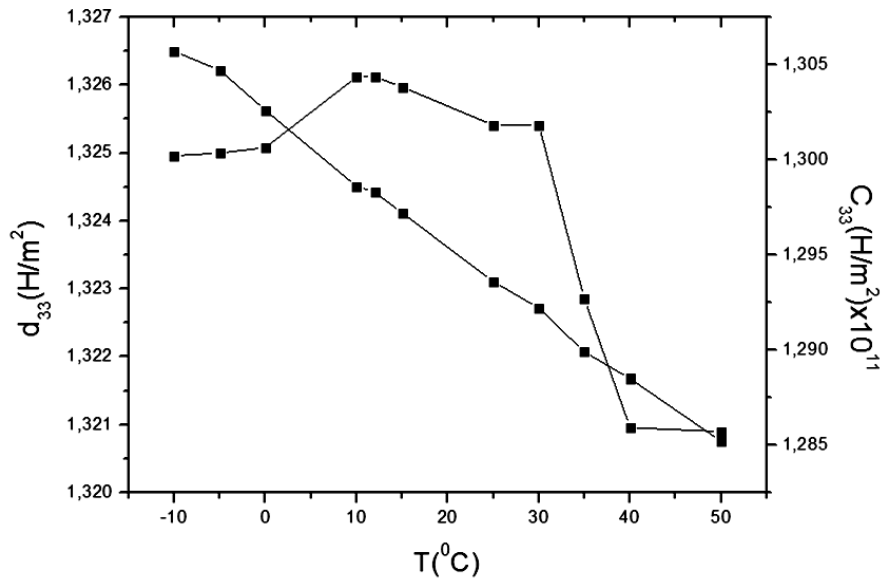


Рис. 3. Температурная зависимость d_{33} и C_{33}

Из графика видно, что пьезоэлектрический коэффициент при высоких температурах (от 50⁰С до 25⁰С) сильно уменьшается и при температурном диапазоне от 25⁰С до 10⁰С растет, достигает максимума при температуре 11⁰С. Далее от 10⁰С до -10⁰С пьезоэлектрический коэффициент опять уменьшается.

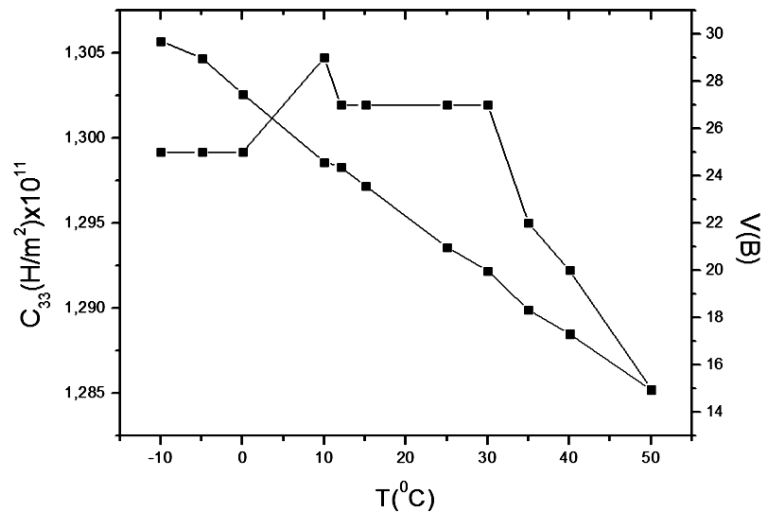


Рис. 4. Зависимость коэффициентов C_{33}, d_{33} от напряжения

На рисунке изображена зависимость d_{33} и C_{33} от напряжения, которое подавалось на кристалл. При характерном напряжении 10 В, подаваемом от генератора, от кристалла получено напряжение 30 В. Это говорит о том, что данный кристалл является хорошим материалом для пьезотрансформатора.

Закключение: Исследование показало, что кристалл КТР обладает хорошим пьезоэлектрическим свойством, минимальным частотным коэффициентом температур. Наряду с кристаллическим кварцем (SiO_2) и с ниобатом лития (LiNbO_3), которые широко применяются в пьезоэлектрических и акустооптических устройствах, кристалл КТР с таким же успехом можно использовать в этих устройствах.

1. *Chu David K.T., Bierlein D., Hunsperger G.* Pizelectric and Acoustic Properties of (KTP) and Its Isomorphs. IEEE Feroelectrics and Frequency, Vol 39. № 6, November 1992.
2. *Yang Zhang, Ligu Tang, Nianjing Ji, Gang Liu, Jiyang Wang, Huaidong Jiang, and Wenwu Cao.* Temperature dependence of full set tensor properties of KTiOPO₄ single crystal measured from one sample. J. Appl. Phys. 119, 2016. P. 124104-124107.
3. *Мэзон У.* Пьезоэлектрические кристаллы и их применение в ультраакустике. М., 1952. 453 с.
4. *Кеди У.* Пьезоэлектричество и его практические применения. М., 1949. 721 с.
5. *Най Дж.* Физические свойства кристаллов. М., 1967. 390 с.