

УДК 535

## ТЕМПЕРАТУРНО-НЕЗАВИСИМЫЙ МОДУЛЯТОР ИЗЛУЧЕНИЯ НА КРИСТАЛЛЕ НИОБАТА ЛИТИЯ

<sup>1,2</sup>Криштоп В.В., <sup>2</sup>Гончарова П.С., <sup>2</sup>Киреева Н.М., <sup>2</sup>Карпец Ю.М.,  
<sup>2</sup>Ефременко В.Г., <sup>2</sup>Литвинова М.Н.

<sup>1</sup>*Kwangwoon University, Kwangwoon University, e-mail: krishtop@list.ru;*

<sup>2</sup>*Дальневосточный государственный университет путей сообщения, Хабаровск*

Для передачи информации по оптическим каналам широко используются электрооптические модуляторы излучения. При прохождении мощного оптического пучка через модулятор происходит повышение температуры оптических элементов, что приводит в общем случае к снижению глубины модуляции устройства и появлению ошибок при передаче информации. В работе рассмотрено влияние изменения температуры оптических элементов в модуляторе широкополосного излучения. Показано, что спектр пропускания устройства имеет форму чередующихся максимумов и минимумов (гребнеподобная форма), не зависит от температуры, а глубина модуляции остается высокой в широком диапазоне температур благодаря выбору взаимной ориентации элементов и идентичности размеров двулучепреломляющих кристаллических элементов, изготовленных из ниобата лития.

**Ключевые слова:** электрооптическая модуляция, двулучепреломляющие кристаллы, анизотропные среды, ниобат лития, дисперсия показателя преломления

## TEMPERATURE INDEPENDENT OPTICAL MODULATOR ON LITHIUM NIOBATE CRYSTAL

<sup>1,2</sup>Krishtop V.V., <sup>2</sup>Goncharova P.S., <sup>2</sup>Kireeva N.M., <sup>2</sup>Karpets Y.M.,  
<sup>2</sup>Efremenko V.G., <sup>2</sup>Litvinova M.N.

<sup>1</sup>*Kwangwoon University, Kwangwoon University, e-mail: krishtop@list.ru;*

<sup>2</sup>*Far Eastern State Transport University, Khabarovsk*

For purpose of optical communications the electrooptical modulators are used very often. The temperature of optical elements increases in case of high intensity of bunch which passes through the modulator, and therefore the modulation depth decreases in general case. In paper we investigated the influence of temperature changes of optical broadband modulator elements on modulation depth. It was shown that the transparency spectrum has form of maxima and minima (comb-like shape) and does not change with temperature increasing. The depth of modulation is stays high in wide range of temperature by means of choosing of orientation of birefringence crystals, which were made from lithium niobate crystal.

**Keywords:** electrooptical modulation, birefringence of crystal, anisotropic medium, lithium niobate, dispersion of refraction indexes

Оптика и фотоника в настоящее время является наиболее бурно развивающейся областью физики [6]. Это обусловлено широким распространением оптоэлектронных устройств передачи информации, имеющих низкие энергозатраты (передача информации практически без потерь) и высокую плотность передаваемой информации (определяется высокой несущей частотой оптического излучения) [5]. Системы передачи данных по широкополосным каналам считаются наиболее перспективными в настоящее время, и скорость передачи достигает десятков Гб в секунду [7]. Однако при прохождении мощных пучков излучения через модулирующие устройства происходит поглощение энергии, вследствие чего температура элементов повышается и происходит расфазировка устройства, как следствие, ухудшаются характеристики модулятора (например, глубина модуляции). В связи с этим актуальным направлением является создание температурно-независимых приборов и устройств.

### Расчеты и обсуждение результатов

Наиболее удобным по своим характеристикам и распространенным для целей модуляции материалом является кристалл ниобата лития [3]. Хорошо известно, что кристалл ниобата лития обладает двулучепреломлением, величина которого довольно сильно зависит от температуры. Различное изменение показателей преломления обыкновенной  $n_o$  и необыкновенной  $n_e$  волны от температуры  $T$  приводит к следующей зависимости естественного двулучепреломления от температуры [2]:

$$\delta\phi_T = (2\pi L/\lambda) \frac{d(n_e - n_o)}{dT} \delta T,$$

где  $\delta\phi_T$  – разность фаз между двумя ортогонально поляризованными компонентами света при изменении температуры на  $\delta T$ ;  $\lambda$  – длина волны;  $L$  – длина кристалла в направлении распространения света.

Для кристалла ниобата лития температурные колебания показателей преломления определяются как:  $dn/dT = 5,4 \cdot 10^{-6}/^\circ\text{C}$ ,

$dn_o/dT = 37,9 \cdot 10^{-6}/^\circ\text{C}$ . Так, например, для кристалла длиной 10 мм при изменении температуры на  $0,1^\circ\text{C}$  изменение разности фаз на длине волны 633 нм достигает 0,1π.

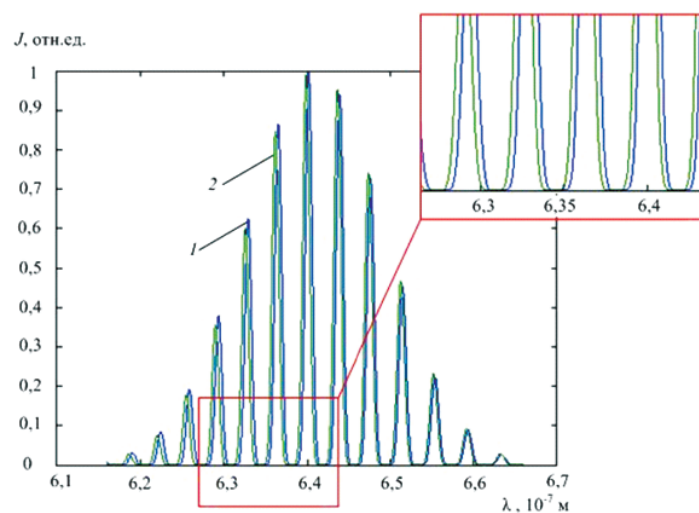
В некоторых случаях предпочтительнее использовать широкополосное некогерентное излучение [4]. В работе [1] рассмотрен один из таких способов электрооптической модуляции широкополосного излучения; кристаллы ниобата лития расположены таким образом, что их оптические оси параллельны друг другу и перпендикулярны направлению распространения излучения.

При прохождении мощного оптического пучка через модулятор может произойти изменение температуры элементов. В работе проведен анализ такой ситуации и получен ответ на вопрос, приведет ли изменение

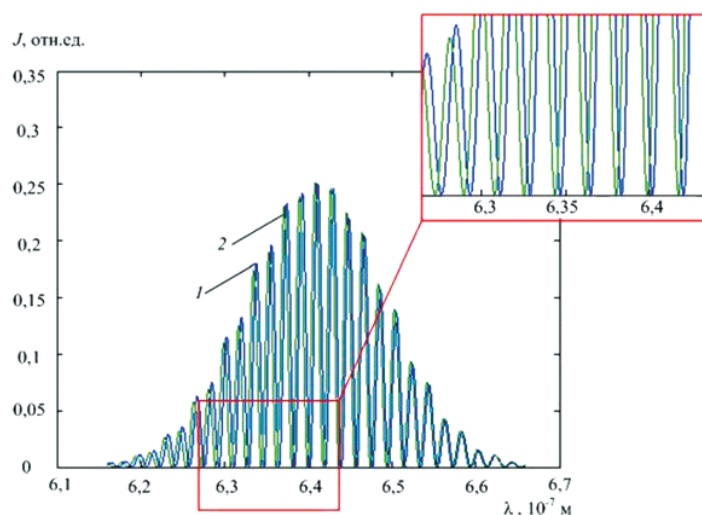
температуры системы к ухудшению работы такого модулятора.

В случае изменения температуры возникает одинаковая добавочная разность фаз  $\varphi_T$  в обоих кристаллах, что приводит к тому, что максимумы и минимумы в спектре на выходе из модулятора изменяют свое положение. Однако это не приводит к уменьшению глубины модуляции, так как изменение происходит совершенно одинаково в обоих кристаллах вследствие их идентичности.

На рисунке представлены выходные изменения интенсивности излучения без приложения электрического поля (рисунок, а) и с приложением электрического поля (рисунок, б) при различной температуре (для наглядности графики увеличены, поэтому размерность отличается), вычисленные по методике, приведенной в работе [1].



а



б

*Изменения выходной интенсивности излучения без приложения электрического поля (а) и с приложением электрического поля (б) при различной температуре: график: 1 – для температуры  $20^\circ\text{C}$ ; график 2 – для температуры  $25^\circ\text{C}$*

Из графиков видно, что интенсивность выходного излучения и характер чередования минимумов и максимумов не изменяется (вид спектра является гребнеподобным) при повышении температуры, происходит только сдвиг минимумов и максимумов по длине волны в сторону увеличения длины волны. Такое поведение спектра определяется идентичностью кристаллов, и при повышении температуры происходит одинаковое изменение коэффициентов преломления в обоих кристаллах для обыкновенной и необыкновенной волны. Набег фаз в первом и втором кристалле остается неизменным при изменении температуры. Таким образом, изменение температуры не приводит к уменьшению глубины модуляции и к нарушению работы модулятора.

### Заключение

Таким образом, в работе показано, что изменение температуры оптических элементов не влияет на глубину электрооптической модуляции в диапазоне комнатных температур и нагревание кристаллов вследствие поглощения оптического излучения приводит лишь к спектральному сдвигу излучения, не изменяя общей его интенсивности.

*Работа выполнена при поддержке гранта Kwangwoon University (республика Корея) и Государственной федеральной целевой программы «Научные и педагогические кадры инновационной России (2009–2013)», контракт № 16.740.11.0396.*

### Список литературы

1. Гончарова П.С. Электрооптическое управление некогерентным светом в системе из двух анизотропных кристаллов // НТВ СПбГУ. – 2012. – Т. 141, № 1. – С. 82–85.
2. Лопатина П.С., Криштоп В.В., Строганов В.И., Сюй А. Электрооптическая модуляция широкополосного излучения с гауссовым распределением амплитуды по

спектру // Оптика и спектроскопия. – 2012. – Т. 113, № 2. – С. 219–221.

3. Лопатина П.С. Электрооптический модулятор для волоконно-оптических линий связи // Изв. вузов. Приборостроение. – 2009. – Т.52, № 12. – С. 67–71.

4. Толстов Е.В., Строганов В.И., Криштоп В.В., Литвинова М.Н., Рапопорт И.В., Сюй А.В. Электрооптический модулятор // Патент РФ № 2267802 (2267802) 7 G 02 F 1/00. 10.01.2006.

5. Hosseini A., Xu X.C., Subbaraman H., Lin C.Y., Rahimi S. and Chen R. T. Large optical spectral range dispersion engineered silicon-based photonic crystal waveguide modulator // Opt. Express. – 2012. – Vol. 20, № 11. – P. 12318–12325.

6. Reed G.T., Mashanovich G., Gardes F.Y. and Thomson D.J. Silicon optical modulators // Nat. Photonics. – 2010. – Vol. 4, № 8. – P. 518–526.

7. Thomson D.J., Gardes F.Y., Fedeli J.M., Zlatanovic S. 50-Gb/s silicon optical modulator // IEEE Photon. Technol. Lett. – 2012. – Vol. 24, № 4. – P. 234–236.

### References

1. Goncharova P.S., Krishtop V.V., Syui A.V., Tolstov T.V., Pikul O.Yu. *NTV SPbGU*, 2012, Vol. 141, no. 1, pp. 82–85.

2. Lopatina P.S., Krishtop V.V., Stroganov V.I., Syui A.V., Maksimenko V.A., Tolstov E.V., Litvinova G.B. *Optica i spektroskopiya*, 2012, Vol.113, no. 2, pp. 219–221.

3. Lopatina P.S. *Izvestiya vusov. Priborostroenie*, 2009, Vol. 52, no. 12, pp. 67–71.

4. Tolstov E.V., Stroganov V.I., Krishtop V.V., Litvinova M.N., Rapoport I.V., Siuy A.V. *Electroopticheskiy modulator* // Patent RF no. 2267802 (2267802) 7 G 02 F 1/00. 10.01.2006.

5. Hosseini A., Xu X. C., Subbaraman H., Lin C. Y., Rahimi S. and Chen R. T. Large optical spectral range dispersion engineered silicon-based photonic crystal waveguide modulator // Opt. Express. 2012. Vol. 20, no. 11. pp. 12318–12325.

6. Reed G.T., Mashanovich G., Gardes F.Y. and Thomson D.J. Silicon optical modulators // Nat. Photonics. 2010. Vol. 4, no. 8. pp. 518–526.

7. Thomson D.J., Gardes F.Y., Fedeli J.M., Zlatanovic S. 50-Gb/s silicon optical modulator // IEEE Photon. Technol. Lett. 2012. Vol. 24, no. 4. pp. 234–236.

### Рецензенты:

Кондратьев А.И., д.т.н., профессор, ДВГУПС, г. Хабаровск;

Графский О.А., д.т.н., профессор, ДВГУПС, г. Хабаровск.

Работа поступила в редакцию 13.11.2012.