

П. С. ЛОПАТИНА, В. В. КРИШТОП

## ЭЛЕКТРООПТИЧЕСКИЙ МОДУЛЯТОР ДЛЯ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИХ ЛИНИЙ СВЯЗИ

Рассматриваются электрооптические свойства кристалла ниобата лития. Представлена схема экспериментальной установки электрооптического модулятора, основанного на эффекте Поккельса. Приведена методика исследования модулятора с помощью коноскопических фигур и проанализированы его основные характеристики на длинах волн 0,85 и 1,3 мкм.

**Ключевые слова:** электрооптический модулятор, эффект Поккельса, кристалл ниобата лития, коноскопическая фигура, волоконно-оптические линии связи.

Быстрое развитие систем связи обуславливает необходимость модернизации и совершенствования оборудования линейных трактов. Модулирующие устройства являются одним из важнейших элементов линий связи.

В настоящей статье рассматривается электрооптический модулятор, основанный на поперечном эффекте Поккельса. Эффект Поккельса заключается в изменении показателя преломления кристалла, причем это изменение пропорционально напряженности внешнего электрического поля [1, 2]:

$$n_0(E) = n_0 + r_{\perp} E,$$

где  $r_{\perp}$  — электрооптический коэффициент;  $E$  — напряженность электрического поля;  $n_0$  — показатель преломления кристалла при отсутствии электрического поля.

В соответствии со взаимной ориентацией направления распространения луча вдоль оптической оси  $z$  и напряженности электрического поля  $E$  различают продольный и поперечный эффекты Поккельса.

В настоящее время электрооптические модуляторы строятся в основном на основе кристалла ниобата лития, диапазон прозрачности которого составляет 0,4—5 мкм.

Благодаря электрооптическим свойствам этих кристаллов для управления лазерным лучом можно использовать как поперечные, так и продольные управляющие поля. На практике наиболее распространен случай, когда электрическое поле направлено вдоль оси  $y$ , а свет — вдоль оптической оси  $z$ . При этом вследствие поперечного эффекта Поккельса и значительных изменений показателей преломления можно получить весьма низкие управляющие напряжения.

Это свойство кристалла ниобата лития используется в экспериментальной установке, внешний вид которой представлен на рис. 1. В состав установки входят гониометр, на котором закреплены лазер ГН-5 с поляризатором и камера с фотодиодом ФД24К; цифровой

мультиметр АМ-1097 для регистрации значения тока с фотодиода; тефлоновый столик, на котором закрепляется высоковольтный кристаллодержатель с медными электродами, и блок питания ВИП-30.



Рис. 1

Для исследования оптических свойств модулятора применен метод наблюдения коноскопических фигур [3]. При этом вместо камеры с фотодиодом устанавливается экран, на который проецируются коноскопические фигуры, а перед кристаллом — рассеивающее стекло. Оптическая схема измерений представлена на рис. 2, где 1 — лазер; 2 — поляризатор; 3 — матовое рассеивающее стекло; 4 — электрооптический кристалл; 5 — металлические электроды; 6 — высоковольтный источник; 7 — анализатор; 8 — собирающая линза; 9 — экран.

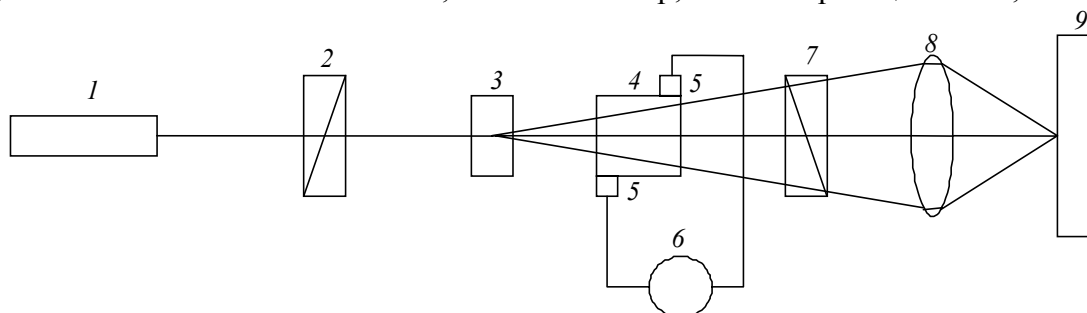


Рис. 2

Для анализа коноскопических фигур применена методика обработки изображений с использованием цифровой фотокамеры [4]. Изображение с экрана фиксируется цифровой камерой, затем переносится в компьютер и обрабатывается с помощью специальной программы „Экспресс-анализ диффузных оптических изображений“, созданной на кафедре физики Дальневосточного государственного университета путей сообщения (Хабаровск). Эта программа предназначена для построения графика зависимости интенсивности излучения по любым выбранным направлениям оптического изображения [5].

В результате экспериментальных исследований были получены коноскопические картины и графики распределения интенсивности света для кристалла ниобата лития. На рис. 3 представлена динамика изменения коноскопической картины при увеличении напряжения  $U$ , а на рис. 4 — графики распределения интенсивности света в горизонтальной плоскости коноскопических картин при различных напряжениях для относительной координаты ( $x_{\text{отн}}$ ) точки.

Как видно из рис. 3 и 4, при увеличении напряжения на кристалле центральная часть коноскопической картины сначала просветляется, а при дальнейшем увеличении напряжения затемняется: т.е. интенсивность света, проходящего через электрооптический модулятор в направлении оптической оси кристалла, зависит от управляющего напряжения.

Полученные графики позволяют оценить эффективность работы модулятора, которую можно характеризовать глубиной модуляции  $m$ :

$$m = \frac{I_{\max} - I_{\min}}{I_{\max} + I_{\min}},$$

где  $I_{\max}$  и  $I_{\min}$  — максимальная и минимальная интенсивность света.

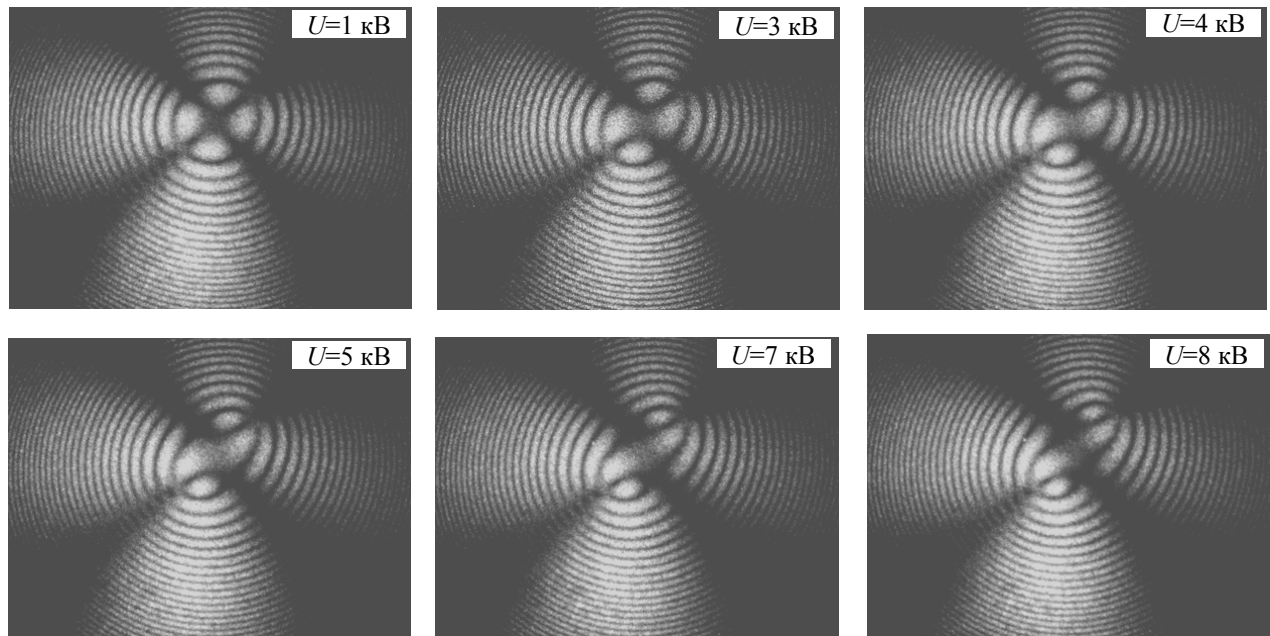


Рис. 3

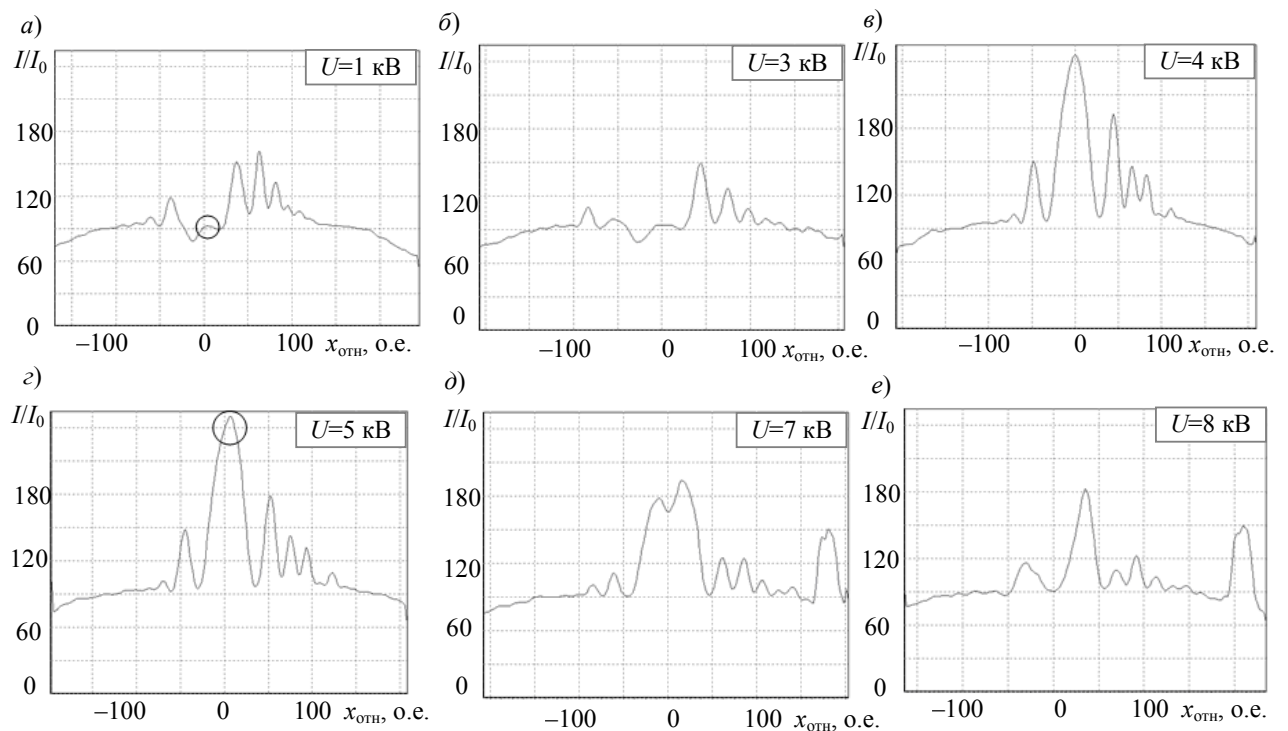


Рис. 4

По графикам (см. рис. 4, а и з) можно определить минимальную и максимальную интенсивность света, при этом глубина модуляции  $m = 0,84$ . Следовательно, данный электрооптический модулятор можно эффективно применять для амплитудной модуляции света.

Один из важных параметров модулятора — выходная интенсивность света:

$$I = I_0 \sin^2 \frac{\Delta\varphi}{2}, \quad \Delta\varphi = \frac{2\pi}{\lambda} n_0^3 r_{22} \frac{U}{d} L,$$

где  $I_0$  — входная интенсивность света;  $\Delta\varphi$  — разность фаз;  $\lambda = 0,63$  мкм — длина волны;  $n_0 = 2,29$ ;  $r_{22} = 3,4 \cdot 10^{-12}$  м/В [6];  $d = 13,4$  мм — толщина кристалла;  $L = 18,5$  мм — длина кристалла.

Еще одним важным параметром электрооптического модулятора является полуволновое напряжение  $U_{\lambda/2}$  [6], при котором достигается изменение коэффициента пропускания модулятора:

$$U_{\lambda/2} = \frac{\lambda d}{2n_0^3 r_{22} L}.$$

Теоретически полученное значение составило 5588 В.

В современных волоконно-оптических линиях связи для передачи информации обычно используется полоса частот инфракрасного диапазона. Был произведен анализ поведения исследуемого электрооптического модулятора на длине волны 1,3 мкм. В данном случае полуволновое напряжение достаточно велико ( $U_{\lambda/2} = 12\,622$  В), поэтому следует перенести рабочую точку в область значений  $U_{\lambda/2} = 6311$  В. Для этого необходимо поставить четвертьволновую пластинку ( $\lambda/4$ ) перед модулирующим кристаллом или приложить постоянное напряжение смещения  $U_{см} = 6311$  В (рис. 5, а). Рабочее значение модулирующего напряжения составит 4 кВ. При этом глубина модуляции  $m = 0,89$ .

Другим способом уменьшить значение полуволнового напряжения, а значит, и управляющего модулирующего напряжения, является увеличение отношения  $L/d$ . В этом случае при той же длине кристалла ( $L = 13,4$  мм) и уменьшении толщины кристалла в 4 раза ( $d = 3,35$  мм) значение полуволнового напряжения составит 3155 В (рис. 5, б). Тогда при приложении напряжения смещения 1577 В значение управляющего переменного напряжения составит 1200 В при  $m = 0,9$ .

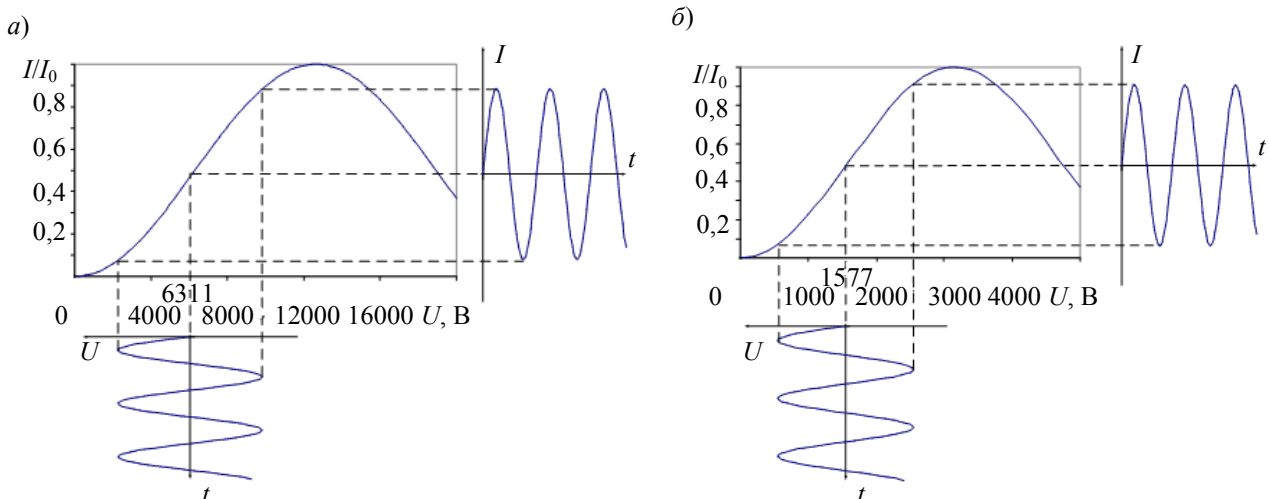


Рис. 5

Таким образом, на кристалле ниобата лития возможно создание электрооптического модулятора с хорошими характеристиками, пригодного для применения в системах передачи информации.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лопатина П. С. Электрооптическая модуляция // Бюл. науч. сообщений ДВГУПС; Под ред. В. И. Строганова. Хабаровск: ДВГУПС, 2007. № 12. С. 51—54.
2. Лопатина П. С. Распределение электрического поля в кристаллах ниобата лития // Там же. С. 48—51.
3. Пикуль О. Ю., Алексеева Л. В., Повх И. В. и др. Особенности оптической системы для наблюдения коноскопических фигур больших размеров // Изв. вузов. Приборостроение. 2004. Т. 47, № 12. С. 53—55.
4. Криштон В. В., Литвинова М. Н., Сюй А. В. и др. Определение оптической неоднородности кристаллов по последовательности коноскопических фигур // Опт. журн. 2006. Т. 73, № 12. С. 84—85.
5. Криштон В. В., Ефременко В. Г., Литвинова М. Н. и др. Экспресс-анализ диффузных оптических изображений // Изв. вузов. Приборостроение. 2006. Т. 49, № 8. С. 21—23.
6. Блистанов А. А. Кристаллы квантовой нелинейной оптики. М.: МИСИС, 2007.

**Сведения об авторах**

- Полина Сергеевна Лопатина** — аспирант; Дальневосточный государственный университет путей сообщения, кафедра физики, Хабаровск; E-mail: fizika@festu.khv.ru
- Виктор Владимирович Криштон** — канд. физ.-мат. наук, доцент; Дальневосточный государственный университет путей сообщения, кафедра физики, Хабаровск; E-mail: krishtop@list.ru

Рекомендована кафедрой  
физики

Поступила в редакцию  
23.01.09 г.