

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ
ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО
ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
ИРКУТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
(ГОУ ВПО ИГУ)
КАФЕДРА ОБЩЕЙ ФИЗИКИ

Н.А. Иванов

Линейный электрооптический эффект и его применение в квантовой электронике

Методические рекомендации

Иркутск 2005 г

СОДЕРЖАНИЕ

1. Распространение света в двулучепреломляющих кристаллах и линейный электрооптический эффект	3
2. Экспериментальная часть	6
2.1. Экспериментальная установка	6
2.2. Эксперимент	7
2.3. Задание	7
3. Контрольные вопросы	8
Список литературы	8

Цель работы: Изучение линейного электрооптического эффекта и его использования в модуляторах и переключателях света и устройствах поляризационного вывода излучения.

Состав экспериментальной установки:

1. Оптическая скамья.
2. He-Ne лазер.
3. Электрооптическая ячейка.
4. Блок питания электрооптической ячейки.
5. Комплект поляризаторов.
6. Фотодиод.
7. Вольтметр.

1. Распространение света в двулучепреломляющих кристаллах и линейный электрооптический эффект

При распространении пучка света произвольной поляризации в двулучепреломляющем кристалле он расщепляется на две компоненты соответствующих обыкновенной и необыкновенной волне со своими направлениями векторов поляризаций и показателями преломления. Линейный электрооптический эффект характеризуется линейным изменением показателей преломления собственных волн от приложенного электрического поля. Определять показатели преломления удобнее всего с помощью эллипсоида показателей преломления задаваемого уравнением в случае если координатные оси совпадают с оптическими осями кристалла:

$$\frac{x^2}{n_x^2} + \frac{y^2}{n_y^2} + \frac{z^2}{n_z^2} = 1 \quad (1.a)$$

или

$$a_x x^2 + a_y y^2 + a_z z^2 = 1, \quad (1.б)$$

где n_x, n_y, n_z - показатели преломления в главных направлениях, $a_x = \frac{1}{n_x^2}$, $a_y = \frac{1}{n_y^2}$,

$a_z = \frac{1}{n_z^2}$ - соответствующие поляризационные константы.

Приложенное электрическое поле изменяет поляризационные константы, причем могут изменяться не только константы в (1), но и ориентация оптических осей кристалла. Поэтому в уравнение показателей преломления могут входить и перекрёстные члены вида $a_{xy}xy$, присутствующие в случае произвольной ориентации системы координат относительно кристалла:

$$a'_x x^2 + a'_y y^2 + a'_z z^2 + 2a'_{yz} yz + 2a'_{xz} xz + 2a'_{xy} xy = 1 \quad (2)$$

или

$$(a_x + \Delta a_x)x^2 + (a_y + \Delta a_y)y^2 + (a_z + \Delta a_z)z^2 + 2\Delta a_{yz} yz + 2\Delta a_{xz} xz + 2\Delta a_{xy} xy = 1 \quad (3)$$

a' - поляризационные константы в присутствии поля, Δa - их изменение при включении поля.

Для удобства вычислений принято использовать обозначения $a_x = a_1$, $a_y = a_2$,

$a_z = a_3$, $a_{xy} = a_4$, $a_{xz} = a_5$, $a_{yz} = a_6$.

Тогда для линейного электрооптического эффекта можно написать:

$$\Delta a_i = \sum_{j=1}^3 r_{ij} E_j \quad (3)$$

, где r электрооптические коэффициенты и индекс суммирования j означает 1=x, 2=y, 3=z. То же в матричном виде:

$$\begin{bmatrix} \Delta a_1 \\ \Delta a_2 \\ \Delta a_3 \\ \Delta a_4 \\ \Delta a_5 \\ \Delta a_6 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} \\ r_{41} & r_{42} & r_{43} \\ r_{51} & r_{52} & r_{53} \\ r_{61} & r_{62} & r_{63} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} E_1 \\ E_2 \\ E_3 \end{bmatrix} \quad (4)$$

Рассматриваемый в работе кристалл дейтерированного калий дигидрофосфата KD_2PO_3 (DKDP) имеет только 3 ненулевых компонента $r_{41}=r_{52}$ и r_{63} . Этот кристалл одноосный с показателями преломления $n_o=1.51$ и $n_e=1.47$. При прикладывании электрического поля вдоль оси Z уравнение для эллипсоида показателей преломления принимает вид:

$$\frac{x^2 + y^2}{n_o^2} + \frac{z^2}{n_e^2} + 2r_{63}xy = 1 \quad (5)$$

Это уравнение можно привести к каноническому виду (1) заменой координат:

$$\begin{aligned} x &= \frac{\sqrt{2}}{2} x' - \frac{\sqrt{2}}{2} y' \\ y &= \frac{\sqrt{2}}{2} y' + \frac{\sqrt{2}}{2} x' \\ z &= z' \end{aligned} \quad (6)$$

в которых имеют вид:

$$\left(\frac{1}{n_o^2} + r_{63} E_z \right) x'^2 + \left(\frac{1}{n_o^2} - r_{63} E_z \right) y'^2 + \frac{z'^2}{n_e^2} = 1 \quad (7)$$

Таким образом при приложении электрического поля в направлении оси Z эллипсоид показателей преломления, первоначально вращательно симметричный относительно оси Z , сжимается в направлении x' и сжимается в направлении y' . Таким образом под воздействием электрического поля кристалл из одноосного становится двуосным.

Используя условие малости изменения преломления можем получить выражение для показателей преломления :

$$\begin{aligned} n_{x'} &= n_o - n_o^3 r_{63} E_z / 2 \\ n_{y'} &= n_o + n_o^3 r_{63} E_z / 2 \\ n_z &= n_e \end{aligned} \quad (8)$$

Рассмотрим распространение световой волны поляризованной по оси x' в направлении Z . Для неё показатель преломления $n_{x'}$ и компонента $E_{x'}$ распространяется как:

$$E_{x'} = A \exp \left[i \left(\omega t - \frac{\omega}{c} (n_o - n_o^3 r_{63} E_z z / 2) \right) \right] \quad (9)$$

Аналогично для волны поляризованной по оси y' :

$$E_{y'} = A \exp \left[i \left(\omega t - \frac{\omega}{c} (n_o + n_o^3 r_{63} E_z z / 2) \right) \right] \quad (10)$$

Разность фаз между этими компонентами набираемая за расстояние l составляет

$$\Delta\varphi = (\omega / c) n_o^3 r_{63} V \quad (11)$$

где $V = E_z l$ разность потенциалов между точками с $z=0$ и $z=l$. Видно что при распространении света разность фаз между компонентами изменяется прямо пропорционально пройденному расстоянию и соответственно изменяются состояния поляризации пучка света. В частности при падении на кристалл линейно поляризованного углом 45° к оси x' пучка по мере прохождения через кристалл поляризация станет эллиптической затем когда разность фаз достигнет 90° круговой, затем эллипс поляризации снова начнет сжиматься и по достижению разности фаз 180° поляризация станет линейной перпендикулярной исходной (рис.1). Разность потенциалов соответствующая разности фаз 90° называется полуволновым напряжением, а соответствующая 180° волновым напряжением. Если теперь на выходе из кристалла поставить поляризатор, пропускающий излучение с поляризацией исходного пучка то вышедший из кристалла пучок будет полностью подавлен. При снятии электрического поля кристалл вернётся в одноосное состояние и не будет влиять на поляризацию пучка распространяющегося в направлении оптической оси Z . Соответственно поляризатор полностью его пропустит. На этом принципе основано действие многочисленных оптических модуляторов, переключателей, модуляторов добротности резонаторов лазеров. Кроме того создавая в кристалле неоднородное электрическое поле можно

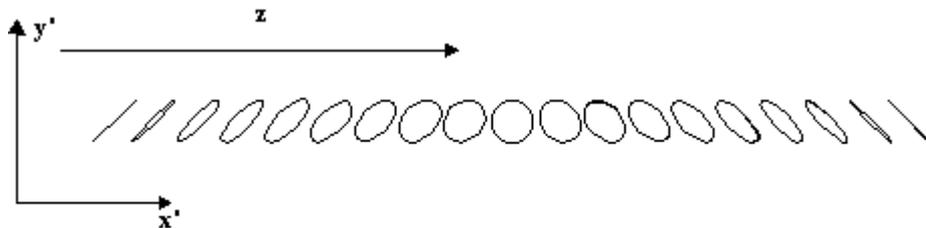


Рис.1 Эволюция эллипса поляризации при прохождении света через двулучепреломляющий кристалл.

наводить неоднородное поле показателей преломления в котором происходит отклонение луча света (оптические дефлекторы).

В работе изучается действие моноблочного модулятора на основе кристалла DKDP с встроенным поляризатором. Модулятор выполнен в виде параллелипипеда вытянутого в направлении кристаллографической оси Z . Передний торец выполнен перпендикулярно оси Z , а задний вырезан под углом 45° к осям X и Z и образует призму полного внутреннего отражения. Причем при отражении компоненты поляризованной по оси X угол отражения не равен углу падения, так как при этом обыкновенная волна превращается в необыкновенную или более обще при отражении изменяется показатель преломления, и в результате компоненты с ортогональными поляризациями выходят из кристалла под разными углами и расходятся. Таким образом кристалл объединяет функции собственно элемента модуляции и поляризатора. Внешний вид и ход лучей для случая неподанного управляющего напряжения приведены на рис. 2. При подаче

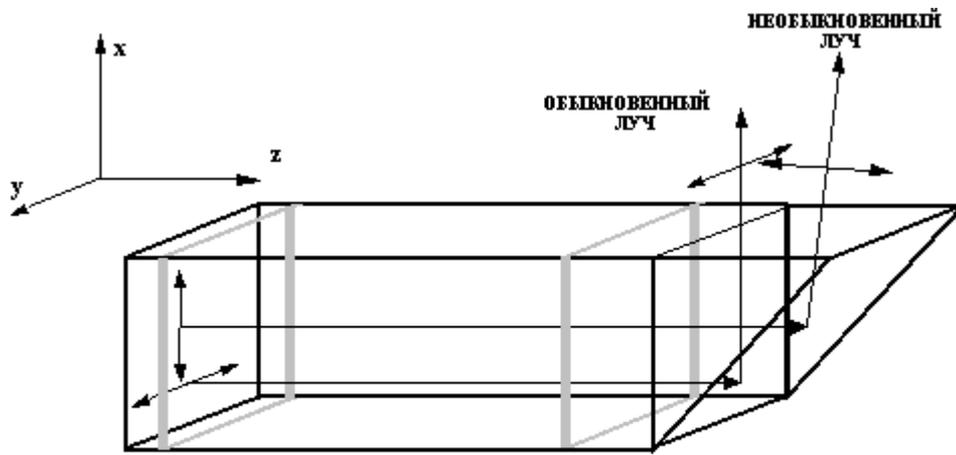


Рис.2 Ход лучей в модуляторе при нулевом управляющем напряжении.

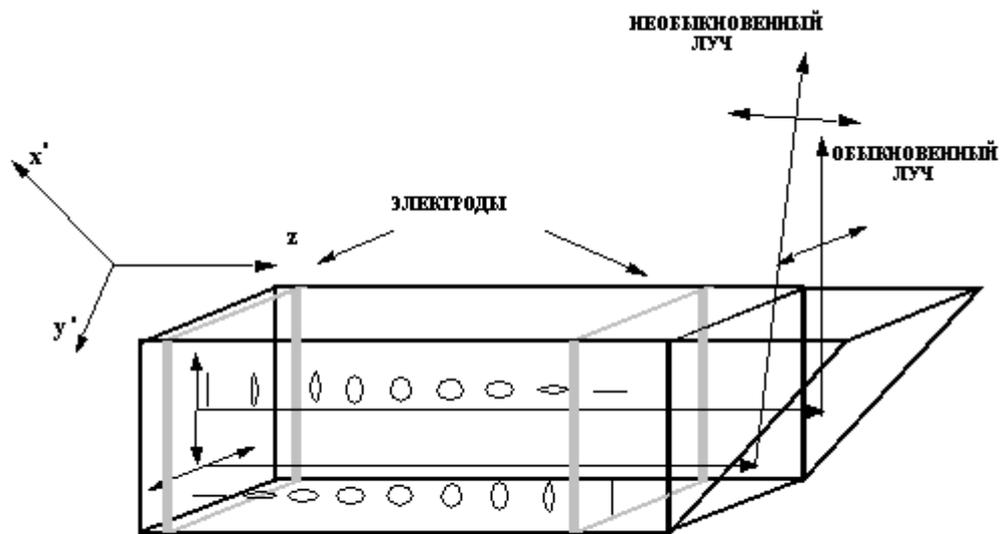


Рис.3 Ход лучей в модуляторе при полуволновом управляющем напряжении.

полуволнового напряжения на электродах, выполненные в виде узких поясков на боковых поверхностях, компонента с поляризацией по оси Y изменяет поляризацию на 90° и после отражения становится необыкновенной соответственно теперь выходит под другим углом. Таким образом такой прибор при подаче на него предварительно поляризованного света может работать как оптический модулятор или переключатель.

2. Экспериментальная часть

2.1 Экспериментальная установка

В качестве источника излучения используется гелий-неоновый лазер 1 (рис.4), длина волны генерации 632.8 нм, поляризация излучения в вертикальной плоскости. Свет пройдя кристалл модулятора 2, установленный на юстировочном столике, разделяется на два луча и падает на съёмный экран для наблюдения (на рисунке не показан) или интенсивность же интенсивность одного из пучков измеряется фотодиодом (4), подсоединённого к вольтметру (5). Высокое напряжение на модулятор подаётся с

регулируемого блока питания 0-5 кВ. Ручка регулировки напряжения совмещена с выключателем сети. Для подачи напряжения на модулятор тумблер “высокое” переключается в верхнее положение. В нижнем его положении напряжение с модулятора снимается.

2.2 Эксперимент

1. Проверить положение ручек и переключателей: “сеть” лазера выключена, “высокое”, блока питания модулятора в нижнем положении, ручка регулировки блока питания в крайнем левом положении до щелчка.

2. Отъюстировать модулятор. Для чего поставить экран для наблюдения перед фотодиодом. Включить лазер. В случае разъюстированного модулятора на экране будет наблюдаться 2 пятна от обыкновенного и необыкновенного лучей.

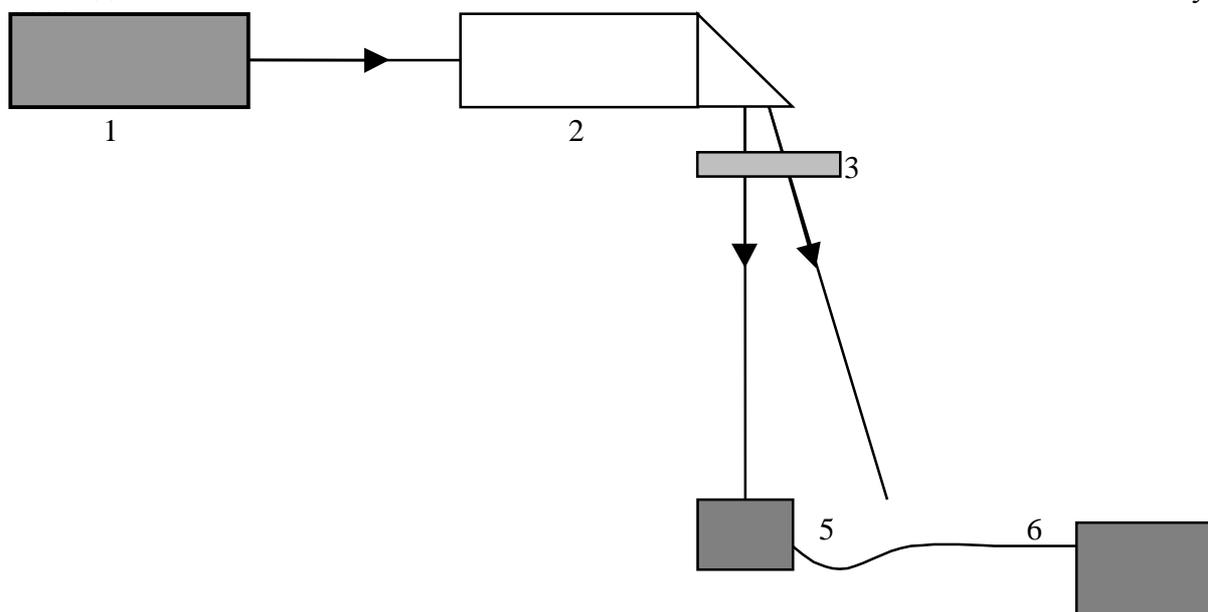


Рис.4 Схема экспериментальной установки

Поворотом винта горизонтальной юстировки добиться исчезновения пятна от необыкновенного луча (горизонтальной поляризации). Для проверки, включите блок питания и медленным вращением ручки регулировки напряжения добейтесь гашения обыкновенного луча. Выключите блок питания

3. Снять модуляционную характеристику интенсивности от напряжения. Для чего включить блок питания, повернув ручку регулировки вправо и переключив тумблер высокое в верхнее положение, и устанавливая напряжение на модуляторе с шагом 200В, составить таблицу зависимости интенсивности обыкновенного луча от напряжения.

4. Пронаблюдать работу модулятора как оптического переключателя. Установить напряжение соответствующее минимуму интенсивности для обыкновенного луча и несколько раз снять и подать напряжение на модулятор.

2.3 Задание

1. Постройте график модуляционной характеристики.
2. Определите напряжённость электрического поля в кристалле.
3. Определите электрооптическую постоянную r_{63} , используя (11) и напряжение при котором достигается минимум интенсивности обыкновенного луча.

3. Контрольные вопросы

1. Почему линейный электрооптический эффект отсутствует в центросимметричных кристаллах.
2. Являются ли оси X' , Y' осями эллипсоида показателей преломления в случае когда внешнее электрическое поле не приложено к кристаллу ?
3. Какого поведения модуляционной характеристики при напряжениях выше полуволнового.
4. Чем вызвано отклонение измеренного r_{63} от табличного.
5. Чем определяются выбор длины кристалла модулятора, ведь сдвиг фазы не зависит от длины кристалла а только от приложенного напряжения.

Список литературы

1. А. Ярив. Квантовая электроника. М.: Сов. радио, 1980.
2. Пантел Р., Путхоф Г. Основы квантовой электроники. М.: Мир, 1972.