

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего  
профессионального образования  
**«ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ И  
РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ» (ТУСУР)**

Кафедра сверхвысокочастотной и квантовой радиотехники  
(СВЧиКР)

**Волоконно-оптические устройства технологического назначения**

**ИССЛЕДОВАНИЕ СОСТОЯНИЯ ПОЛЯРИЗАЦИИ ЛАЗЕРНОГО  
ИЗЛУЧЕНИЯ В ПОЛИМЕРНОМ ВОЛОКОННОМ СВЕТОВОДЕ**

Методические указания к лабораторной работе  
для бакалавров направления 210700.62 "Инфокоммуникационные технологии и  
системы связи" (профиль - "Оптические системы и сети связи")

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего  
профессионального образования  
**«ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ И  
РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ» (ТУСУР)**

Кафедра сверхвысокочастотной и квантовой радиотехники  
(СВЧиКР)

УТВЕРЖДАЮ  
Зав. каф. СВЧиКР

\_\_\_\_\_ С.Н.Шарангович

“ \_\_\_\_ “ \_\_\_\_\_ 2013 г.

**Волоконно-оптические устройства технологического назначения**

**ИССЛЕДОВАНИЕ СОСТОЯНИЯ ПОЛЯРИЗАЦИИ ЛАЗЕРНОГО  
ИЗЛУЧЕНИЯ В ПОЛИМЕРНОМ ВОЛОКОННОМ СВЕТОВОДЕ**

Методические указания к лабораторной работе  
для бакалавров направления 210700.62 "Инфокоммуникационные технологии и  
системы связи" (профиль - "Оптические системы и сети связи")

Разработчик:

профессор кафедры СВЧиКР  
\_\_\_\_\_ В.М.Шандаров

## СОДЕРЖАНИЕ

1. Введение .....	4
2. Элементы теории .....	4
3. Описание экспериментальных установок.....	6
4. Порядок выполнения работы .....	7
5. Содержание отчета .....	8
6. Контрольные вопросы .....	8
7. Рекомендуемая литература .....	9

## 1. ВВЕДЕНИЕ

**Цель работы:** Экспериментальное исследование изменений состояния поляризации излучения лазера в многомодовых полимерных волоконных световодах.

## 2. ЭЛЕМЕНТЫ ТЕОРИИ

Электромагнитная волна с векторами  $\vec{E}$  и  $\vec{H}$ , направление которых может быть однозначно определено в любой момент времени, называется поляризованной.

При случайных положениях векторов  $\vec{E}$  и  $\vec{H}$  в пространстве поле является неполяризованным.

**Плоскость поляризации** – плоскость, проходящая через вектор  $\vec{E}$  и направление распространения волны. В зависимости от того, какую фигуру описывает конец вектора  $\vec{E}$  в пространстве при распространении волны, различают *линейную, эллиптическую и круговую* поляризации.

Математически волну с произвольным видом поляризации можно представить в виде двух составляющих:

$$\begin{aligned}\vec{E}_x &= \bar{x}_0 E_{1m} \cos(\omega t - kz) \\ \vec{E}_y &= \bar{y}_0 E_{2m} \cos(\omega t - kz - \varphi)\end{aligned}$$

В общем случае эти составляющие в плоскости, ортогональной волновому вектору, имеют разные амплитуды и сдвинуты по фазе друг относительно друга.

Выражение для поля плоской волны с линейной поляризацией в общем случае можно записать в форме:

$$\vec{E} = (\bar{x}_0 E_{1m} + \bar{y}_0 E_{2m}) \cdot \cos(\omega t - kz) = E_0 (\bar{x}_0 \cos \alpha + \bar{y}_0 \sin \alpha) \cdot \cos(\omega t - kz),$$

где  $\alpha = \arctg(E_{2m} / E_{1m})$ .

В случае круговой поляризации выражение для поля плоской волны может быть записано в виде:

$$\vec{E} = E_0 [\bar{x}_0 \cos(\omega t - kz) + \bar{y}_0 \sin(\omega t - kz)]$$

Выражение для поля плоских волн при эллиптической поляризации, в комплексной форме принимает вид:

$$\vec{E} = [\bar{x}_0 E_{1m} + \bar{y}_0 E_{2m} \exp(-i\varphi)] \cdot \exp[i(\omega t - kz)]$$

Излучение большинства лазерных приборов поляризовано линейно, для чего часто используются дополнительные элементы. В гелий-неоновых лазерах это достигается с помощью расположения выходных окон газоразрядной трубки под углом Брюстера относительно направления распространения света (оси трубки). Излучение некогерентных источников не поляризовано и для получения заданного состояния его поляризации используются различные

поляризационные элементы. Их называют обычно поляризаторами или поляроидами, а по роду используемых физических эффектов их можно разделить на элементы с анизотропией оптического поглощения (или оптическим дихроизмом) и с анизотропией показателя преломления.

Классическим примером материала с анизотропией оптического поглощения является кристалл турмалина, для которого поглощение обыкновенно поляризованного света значительно выше, чем для необыкновенно поляризованного. Однако он редко применяется для создания поляризационных элементов, т.к. в видимом диапазоне и поглощение необыкновенной волны оказывается существенным. Достаточно хорошими свойствами обладают синтетические органические пленочные материалы, в которых молекулы имеют вид длинных цепочек и ориентированы преимущественно в одном направлении, благодаря специальной обработке. Примером являются пленки поливинилового спирта с добавками йода. Они могут пропускать до 80% света, поляризованного в одном направлении, и менее 1% света, поляризованного в ортогональном направлении. Стоимость такого рода пленочных поляризаторов оказывается значительно более низкой по сравнению с таковой для монокристаллических поляризаторов. Однако существенным недостатком пленочных поляризаторов является возможность их разрушения при очень высокой интенсивности проходящего излучения.

Поляризующие элементы из природного исландского шпата (кальцит,  $\text{CaCO}_3$ ) обладают высоким оптическим качеством, прозрачны в диапазоне длин волн от 0,2 до 2,2 мкм, устойчивы к воздействию интенсивного лазерного излучения. Существует несколько типов таких элементов. Это призмы Николя, Глана, Волластона, Рошона и т.д. Все они используют эффект анизотропии показателя преломления. Призмы Николя и Глана пропускают излучение лишь одной поляризации, призмы Волластона и Рошона на выходе имеют два ортогонально поляризованных световых луча, распространяющихся под некоторым углом относительно направления падающего излучения.

Обратной задачей по отношению к получению поляризованного излучения из неполяризованного является преобразование поляризованного излучения в неполяризованное. Хотя подобная задача в техническом смысле не является очень актуальной, но подобные преобразования достаточно часто наблюдаются в многомодовых волоконных световодах и закономерности подобных преобразований представляют интерес.

Состояние поляризации света может оставаться неизменным в волоконных световодах (ВС) специального типа – ВС с сохранением поляризации (ВС с двулучепреломлением). А в обычных ВС с круговой симметрией в поперечном сечении оно нарушается.

Определить характер поляризации излучения, прошедшего через ВС, можно путем экспериментального исследования, что и предлагается проделать в настоящей работе.

## Закон МАЛЮСА

Он определяет интенсивность линейно поляризованной световой волны, прошедшей через поляризатор.

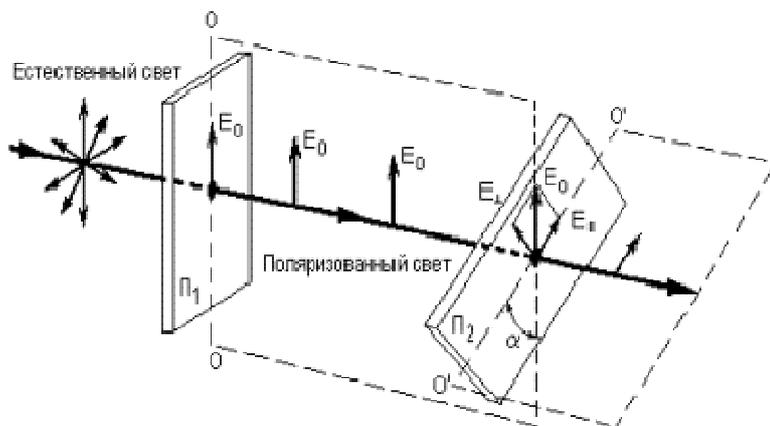


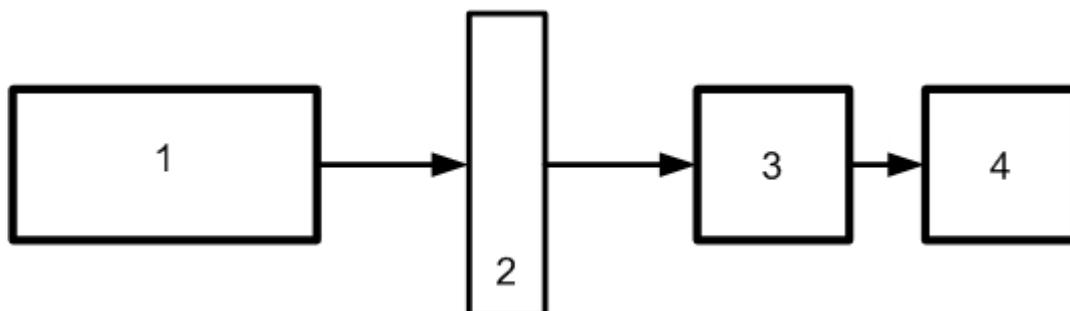
Рис. 7

$$I = I_0 \cdot \cos^2(\alpha)$$

Здесь  $\alpha$  - угол между направлением вектора  $\mathbf{E}$  в световой волне и главным направлением поляризатора,  $I_0$  – интенсивность падающей на поляризатор световой волны. Точность этой зависимости при экспериментальном ее исследовании может указывать на отличие состояния поляризации световой волны от линейной или на качественные характеристики поляризационных элементов (пленочные поляроиды зачастую не обеспечивают значительного подавления интенсивности даже идеально линейно поляризованной световой волны при ортогональности ее плоскости поляризации и главного направления поляризатора).

### 3. ОПИСАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ УСТАНОВОК

Схемы экспериментальных установок для исследования состояния поляризации излучения лазера и качества поляризационного элемента, а также состояния поляризации излучения, прошедшего через ВС, представлены на рис. 1 а, б.



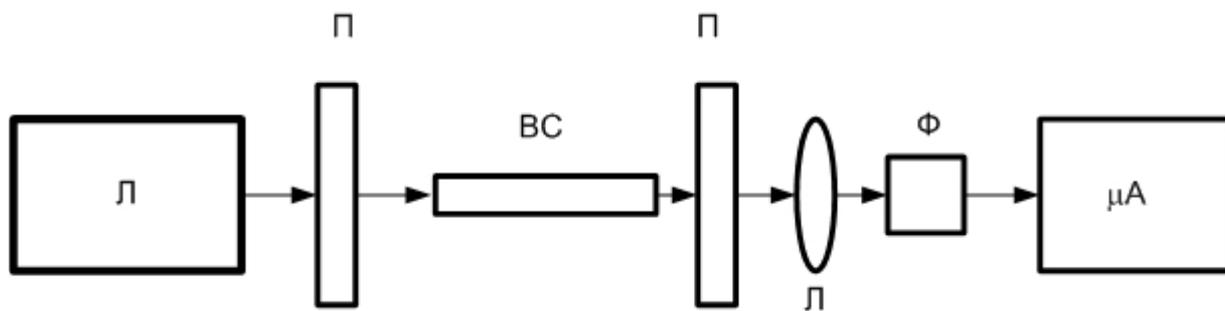


Рис. 1. а) Схема экспериментальной установки для исследования состояния поляризации излучения лазера и качества поляризационного элемента: 1 – источник излучения; 2 – поляризатор; 3 – фотодиод; 4 – измеритель фототока.

б) Л – лазер; П – поляризатор; ВС – волоконный световод; Л – фокусирующая линза; Ф – фотодиод;  $\mu\text{A}$  - микроамперметр.

Первая установка предназначена для исследования качества поляризатора, что определяется соответствием зависимости интенсивности прошедшего через поляризатор излучения от ориентации его плоскости поляризации закону Малюса. Вторая установка отличается от первой тем, что между лазером и поляризатором в схему вводятся образцы полимерных световодов разной длины. В идеале при малой длине полимерного ВС следует ожидать сохранения поляризации лазерного излучения, но при ее увеличении должна наблюдаться деполяризация этого излучения вследствие эффекта преобразования направляемых мод световода.

#### 4. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

4.1. Реальные экспериментальные установки включают He – Ne лазеры ЛГН – 207-А (выходная мощность 1 мВт, длина волны излучения 633 нм, излучение имеет линейную поляризацию) и образцы полимерных ВС длиной 10 см и 50 см. В качестве поляризаторов используются пленочные поляроиды. Излучение источника во второй установке с выходного торца полимерного ВС проходит через поляризатор и поступает на фотодиод ФД-24К, фототок которого измеряется с помощью цифрового микроамперметра. Положение поляризатора может изменяться для задания угла между его главным направлением и некоторым направлением в световом поле (для лазерного излучения оно соответствует положению плоскости поляризации излучения).

4.2. Ознакомиться с экспериментальными установками и ее отдельными элементами.

4.3. Получить от преподавателя конкретное задание на работу, которое включает:

- фокусные расстояния линз, используемых для передачи светового излучения с выходного торца ВС на фотодиод;
- тип поляризационного элемента.

4.4. Ответить на контрольные вопросы преподавателя.

4.5. Получить допуск к выполнению работы.

4.6. Используя экспериментальную установку 1 а, снять зависимость величины фототока от положения поляризационного элемента для проверки соответствия ее закону Малюса. Угловое положение поляризатора изменять с дискретом в  $10^\circ$  в диапазоне до  $180^\circ$ . Результаты измерений занести в таблицу.

4.7. Для полимерного ВС длиной 10 см на экспериментальной установке 2 снять зависимость величины фототока от положения поляризационного элемента для установления влияния ВС на состояние поляризации прошедшего через него излучения. Угловое положение поляризатора изменять с дискретом в  $10^\circ$  в диапазоне до  $180^\circ$ . Результаты измерений занести в таблицу.

4.8. Для полимерного ВС длиной 50 см на экспериментальной установке 2 снять зависимость величины фототока от положения поляризационного элемента для установления влияния ВС на состояние поляризации прошедшего через него излучения. Угловое положение поляризатора изменять с дискретом в  $10^\circ$  в диапазоне до  $180^\circ$ . Результаты измерений занести в таблицу

Таблица

УГОЛ, °				
$I_{\text{ВЫХ}}$				
$(I_{\text{ВЫХ}})/$ $(I_{\text{ВЫХ макс}})$				

4.9. Построить графики полученных зависимостей.

4.10. Оформить отчет по работе.

## 5. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

В отчете должны быть представлены:

- схема экспериментальных установок;
- задание на работу;
- результаты экспериментального исследования в виде таблиц и графиков;
- теоретические результаты по расчету угловой зависимости интенсивности линейно поляризованной световой волны, проходящей через поляризационный элемент (закон Малюса);
- выводы по работе.

## 6. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

- 6.1. Каковы основные достоинства волоконно-оптических элементов?
- 6.2. Что подразумевается под поляризованной волной?
- 6.3. Поясните суть понятия «линейно поляризованная световая волна»?

- 6.4. Поясните суть понятия «световая волна с круговой поляризацией»?
- 6.5. Запишите выражение, определяющее закон Малюса.
- 6.6. Какие физические эффекты приводят к изменению состояния поляризации света в ВС?

## 7. РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Н.И. Калитеевский. Волновая оптика. - СПб.: Лань, 2006. - 465 с. **(30)**
2. В.М. Шандаров. Основы физической и квантовой оптики. – Томск: Томск. гос. Ун-т систем упр. и радиоэлектроники, [Электронный ресурс]: учебное пособие- Томск: ТУСУР, 2012. – 197 с. Режим доступа:  
<http://edu.tusur.ru/training/publications/750>
3. В.М. Шандаров. Волоконно-оптические устройства технологического назначения. – Томск: Томск. гос. Ун-т систем упр. и радиоэлектроники, [Электронный ресурс]: учебное пособие – Томск: ТУСУР, 2012. – 198 с. Режим доступа <http://edu.tusur.ru/training/publications/741>