

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО СВЯЗИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ
БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ
им. проф. М. А. БОНЧ-БРУЕВИЧА»
(СПбГУТ)

МАТЕРИАЛЫ И ЭЛЕМЕНТНАЯ БАЗА ФОТОНИКИ
И ОПТИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВ СВЯЗИ

Методические указания
к лабораторным работам

СПб ГУТ)))

САНКТ-ПЕТЕРБУРГ

2017

Перечень лабораторных работ

- 1 Исследование процессов отражения и преломления света
- 2 Исследование модовой структуры планарного волновода.
- 3 Измерение параметров одномодовых и многомодовых волноводов
- 4 Исследование интегрального электрооптического модулятора света
- 5 Исследование конструкций полупроводниковых излучателей.

Исследование отражения и преломления света на границе раздела двух сред

1. Цель работы

Целью работы является исследование процессов отражения и преломления электромагнитной оптической волны на границе раздела двух диэлектрических сред с различными показателями преломления.

2. Задание на лабораторную работу

Перед выполнением работы должны быть изучены основные принципы распространения плоской электромагнитной волны, падающей на границу раздела двух сред [1, стр.62-77, 2,стр.54-62].

Перед включением аппаратуры необходимо изучить описание лабораторной установки.

В процессе выполнения лабораторной работы производится:

- изучение принципов прохождения света через границу раздела двух сред;
- изучение состава лабораторного оборудования;
- измерение зависимости интенсивности отраженного излучения от угла падения света на границу раздела двух сред для различных поляризаций падающего излучения;
- измерение угла Брюстера;
- измерение угла полного внутреннего отражения.

3. Описание лабораторной установки

Оптическая схема установки (рис.1) собрана на гониометре ГО-5-М. Автоколлиматор (5) и He-Ne лазер (1) закреплены жестко и соосно. Излучение лазера падает на призму (3), расположенную на поворотном столике. Отсчет углов поворота призмы относительно луча лазера производится с помощью нижнего окуляра гониометра (5). Отраженный от поверхности призмы луч лазера попадает на фотоприемник (6), который может свободно перемещаться по кольцевой направляющей (4). Сигнал фотоприемника попадает на цифровой вольтметр (7). Поляризация излучения лазера может изменяться поворотом поляризатора (3), закрепленного на переднем торце трубки лазера. Направление вектора поляризации указано стрелкой на обойме поляризатора.

4. Методические указания к выполнению работы

4.1. Если на границу раздела двух однородных сред с разными показателями преломления n_1 и n_2 падает плоская электромагнитная волна, она разделяется на две волны: проходящую во вторую среду и отраженную. Углы падения θ_1 и преломления θ_2 связаны соотношением, известным как закон Снеллиуса:

$$n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2 .$$

Зависимости амплитудных коэффициентов отражения r и пропускания t от углов падения θ_i и преломления θ_t описываются формулами Френеля для волн с различной поляризацией (ТМ и ТЕ):

$$r_{TE} = \frac{\cos \theta_i - \eta \cos \theta_t}{\cos \theta_i + \eta \cos \theta_t}, \quad \eta = \frac{n_2}{n_1}$$

$$t_{TE} = \frac{2 \cos \theta_i}{\cos \theta_i + \eta \cos \theta_t},$$

$$r_{TM} = \frac{\cos \theta_i - \eta \cos \theta_t}{\cos \theta_i + \eta \cos \theta_t}, \quad (1)$$

$$t_{TM} = \frac{2 \cos \theta_i}{\cos \theta_i + \eta \cos \theta_t}$$

Анализируя эти формулы, можно остановиться на некоторых интересных моментах.

Полное внутреннее отражение. При отражении волны от поверхности оптически менее плотной среды $n_2 < n_1$, обнаруживается предельный угол падения θ_c , при котором $\sin \theta_2 = 1$, $\sin \theta_c = n_2 / n_1$ и $|r| = 1$. Если $\theta_1 > \theta_c$, то весь падающий свет отражается обратно в первую среду, т.е. происходит полное внутреннее отражение.

Угол Брюстера. Для волны ТМ (т.е. для плоской электромагнитной волны, вектор напряженности электрического поля которой лежит в плоскости падения) существует особый угол падения θ_B (угол Брюстера), при котором коэффициент отражения равен нулю.

В лабораторной работе предлагается исследовать зависимость интенсивности излучения, отраженного от границы раздела двух сред, от угла падения света, и измерить угол Брюстера и угол полного внутреннего отражения. Угол Брюстера измеряется непосредственно по минимуму зависимости интенсивности отраженного света от угла падения луча лазера на гипотенузную грань призмы (рис 5).

Угол полного внутреннего отражения определяется путем наблюдения преломленного луча на гипотенузной грани призмы при прохождении луча через границу призма-воздух (рис.3). Когда преломленный луч распространяется по касательной к гипотенузной грани призмы, угол падения луча на эту грань изнутри призмы равен критическому.

Пусть свет падает на призму под углом θ_1 , тогда

$$\sin \theta_1 = n_p \sin \theta_2 \quad (2)$$

Если на гипотенузной грани происходит полное внутреннее отражение, то можно записать

$$n_p \sin \theta_c = 1 \quad (3)$$

при этом

$$\theta_2 = 90^\circ - \theta_c \quad (4)$$

Измерив θ_1 и пользуясь формулами 2, 3, 4 можно рассчитать θ_c и n_p .

4.2. Ознакомиться с описанием лабораторной установки.

4.3. Измерить исходную интенсивность излучения лазера в каждой из поляризаций. Для этого повернуть столик гониометра так, чтобы луч лазера проходил мимо призмы, параллельно ее гипотенузной грани (рис.2). Наблюдать световое пятно в центре кольцевой направляющей фотоприёмника. Передвинуть фотоприёмник по направляющей таким образом, чтобы пятно излучения точно попадало в центр кристалла фотодиода. Измерить и записать ток фотодиода (ток фотодиода пропорционален мощности излучения $P_{изл}$):

$$I_{фд} = S P_{изл}, \text{ где } S \text{ – чувствительность фотодиода.}$$

Изменить поляризацию (повернув поляризатор на 90°) и повторить измерения.

Проверить угловое положение призмы относительно системы отсчета гониометра. Для этого, поворачивая платформу с призмой, установить гипотенузную грань призмы перпендикулярно лучу лазера (при этом отражённый от поверхности призмы луч вернётся в отверстие излучающей апертуры лазера). При этом ось автоколлиматора будет точно перпендикулярна грани призмы. В нижнем (измерительном) окуляре (5) при этом отсчет углов даст значение 0° .

4.4. Измерить угол Брюстера.

Для этого:

- установить стрелку на поляроиде (9) лазера горизонтально (ТМ- волна);
- поворачивать столик с призмой против часовой стрелки от положения $\theta_1 = 10^\circ$ и, передвигая фотоприемник, соответственно перемещению отраженного луча, снять зависимость интенсивности отраженного излучения от угла поворота призмы;
- повернуть стрелку поляризатора на 90° (ТЕ - волна) и повторить измерения.

Измерить угол полного внутреннего отражения.

Для этого:

- установить призму в положение, изображенное на рис.3 и наблюдать луч лазера, вышедший через гипотенузную грань призмы под малым углом к ней и падающий на матовый экран - направляющую фотоприемника. Плавно поворачивая столик гониометра, зафиксировать момент, когда лазерный луч сначала пойдет по касательной к гипотенузной грани призмы, а при дальнейшем увеличении угла падения не выходит наружу через гипотенузную грань призмы, а полностью отражается вовнутрь (ПВО). Измерить угловое положение призмы, соответствующее наступлению ПВО.

Необходимо помнить, что в измерительном окуляре (5) мы всегда измеряем угол $\theta_{изм}$ между осью автоколлиматора и перпендикуляром к гипотенузной грани призмы, т.е. на рис.3 $\theta_1 = 225^\circ - \theta_{изм}$.

Используя результаты измерений, построить экспериментальные зависимости коэффициента отражения от угла падения света на границу раздела для ТЕ – и ТМ – волн:

$R(\theta_i) = P(\theta_i)/P_{изл} = I_{фд}(\theta_i)/I_{фд}(90^\circ)$, где $I_{фд}(90^\circ)$ – ток фотодиода для полного луча лазера.

По снятым зависимостям определить угол Брюстера и рассчитать угол ПВО, и показатель преломления призмы n_p .

Показатель преломления призмы рассчитывается двумя способами:

1. По измеренной величине угла Брюстера : $tg \theta_B = n_p$
2. По графику зависимостей $R(\theta_i)$: сначала определяется коэффициент отражения для малого угла падения 10° как $R(\theta_i) = P_{отр}(\theta_i)/P_{изл}$, затем по измеренному коэффициенту отражения рассчитывается показатель преломления материала призмы

$$R(10^\circ) \approx (n_p - 1)^2 / (n_p + 1)^2$$

Здесь используется тот факт, что зависимость $R(\theta_i)$ при малых углах падения идёт почти параллельно оси абсцисс (рис.5), и для коэффициента отражения можно воспользоваться приближённой формулой, строго справедливой для случая нормального падения $\theta_i = 0^\circ$.

Сравнить оба полученных значения n_p .

ПРИМЕЧАНИЕ: так как мощность излучения лазера флюктуирует (паспортная нестабильность +/- 5%), рекомендуется производить несколько (5-10) измерений в каждой точке с последующим усреднением. Шаг измерения 10° , однако в окрестностях угла Брюстера рекомендуется использовать малые шаги и возможно точнее локализовать точку минимальной интенсивности.

Содержание отчета

Отчет должен содержать:

- схему измерительной установки;
- результаты измерений и расчетов;
- графики измеренных зависимостей;
- выводы по проделанной работе.

Литература

1. Борн М., Вольф Э., - Основы оптики, Наука, М., 1970.
2. Козанне А., Флере Ж., - Оптика и связь - Мир, М., 1984.

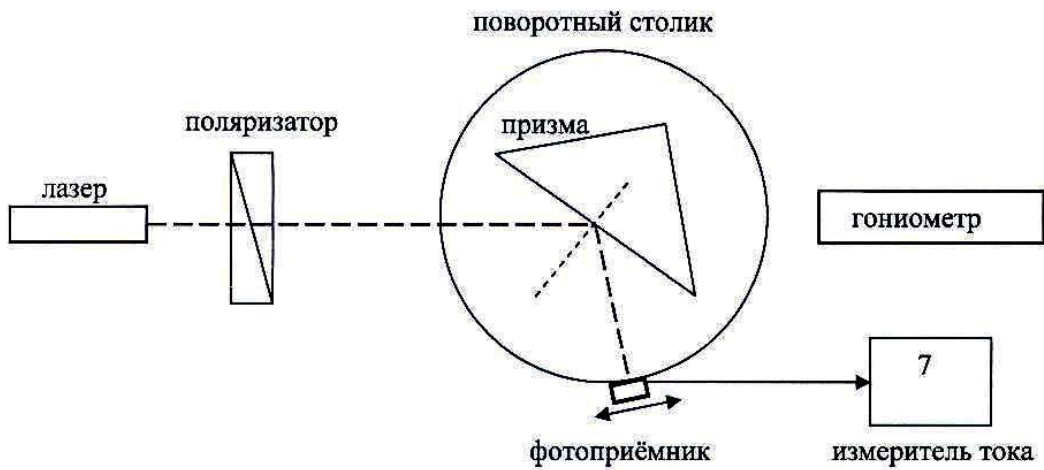


Рис.1 Схема лабораторной установки.

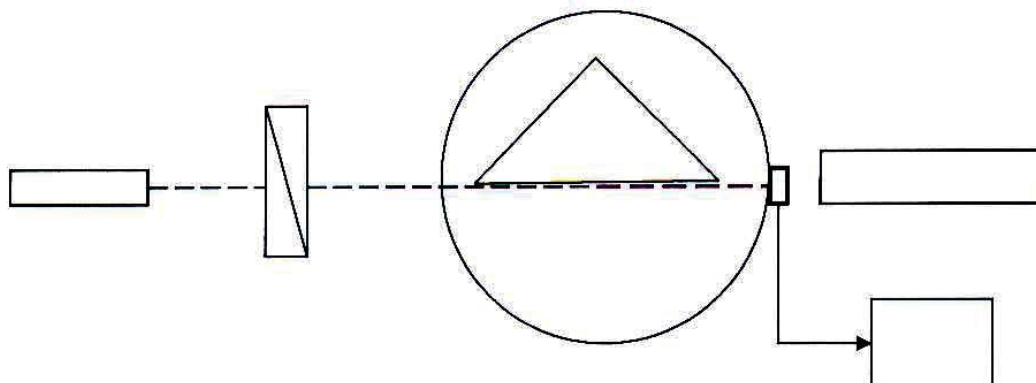


Рис.2 Схема измерения мощности падающего излучения $P_{изл}$.
Луч скользит вдоль призмы, не касаясь её гипотенузной грани.

Рис.3 Ход лучей в призме при измерении критического угла ПВО.
(При наступлении ПВО преломлённый луч должен идти по касательной к гипотенузной грани призмы).

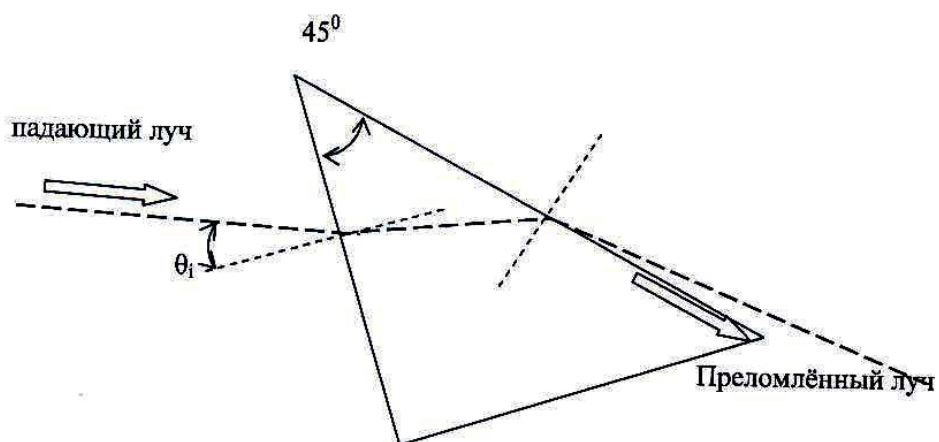


Рис.4 Угол, измеряемый гониометром – между осью гониометра и перпендикуляром к гипотенузной грани призмы.

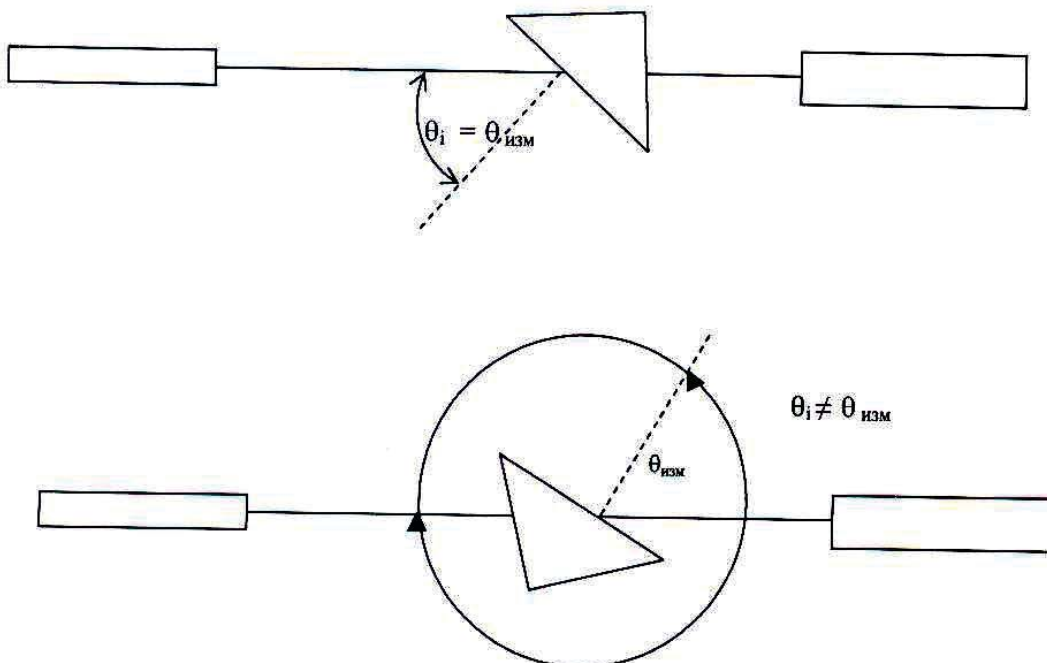


Рис.5 Типичный ход зависимостей $R(\theta_i)$ для ТЕ – волны (а), ТМ – волны (в) и неполяризованного света (б). Здесь угол Брюстера $\theta_B = 56^\circ 40'$.

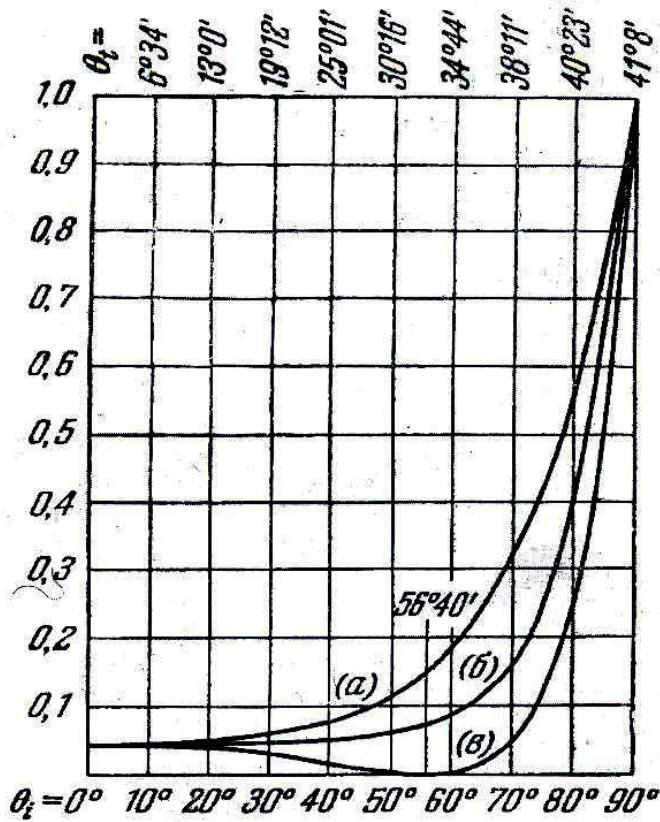


Рис. 1.12. Зависимость отражательной способности от угла падения [22]

а) R_{\perp} ; б) $\frac{1}{2}(R_{\parallel} + R_{\perp})$; в) R_{\parallel} .

ИССЛЕДОВАНИЕ МОДОВОЙ СТРУКТУРЫ ПЛАНАРНОГО ОПТИЧЕСКОГО ВОЛНОВОДА

Рис.1 Призменное устройство ввода – вывода излучения

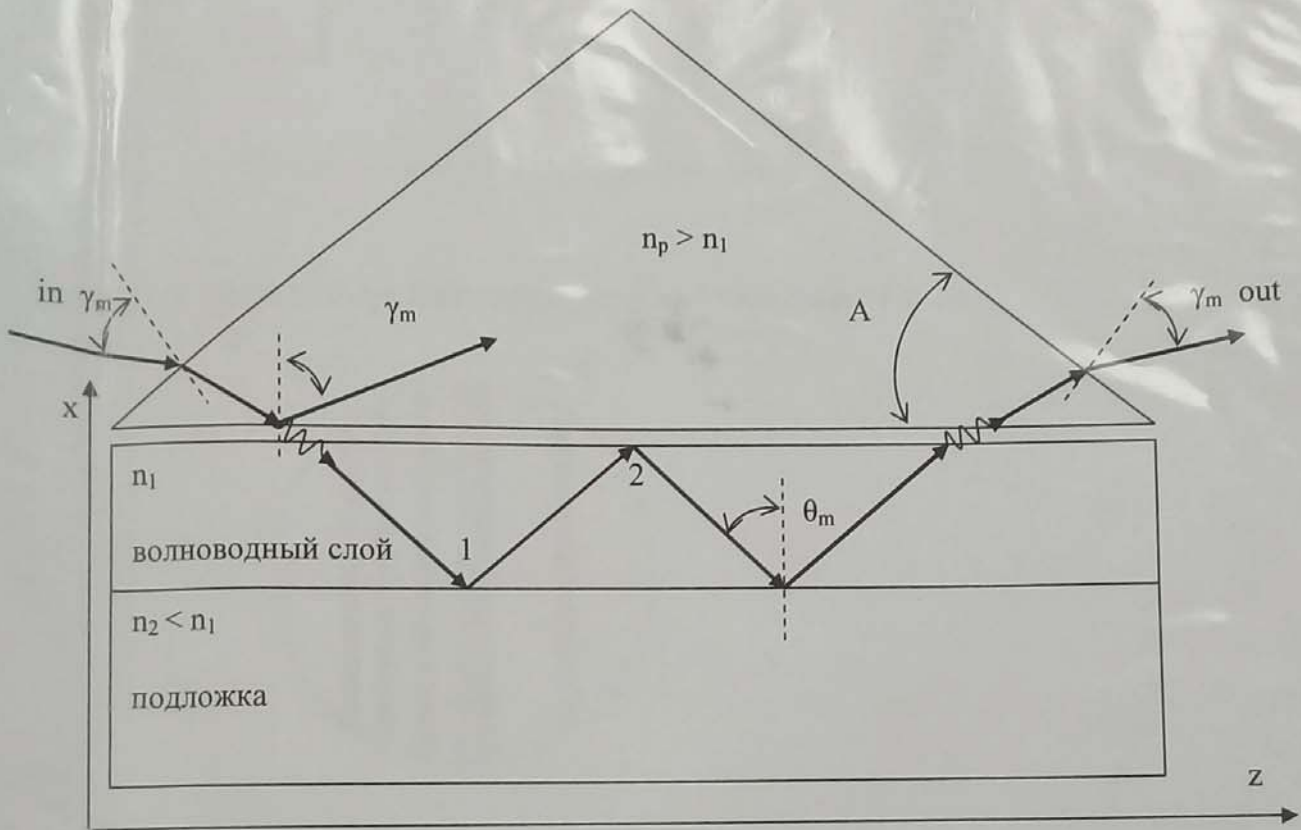


Рис. 2 Схема лабораторной установки

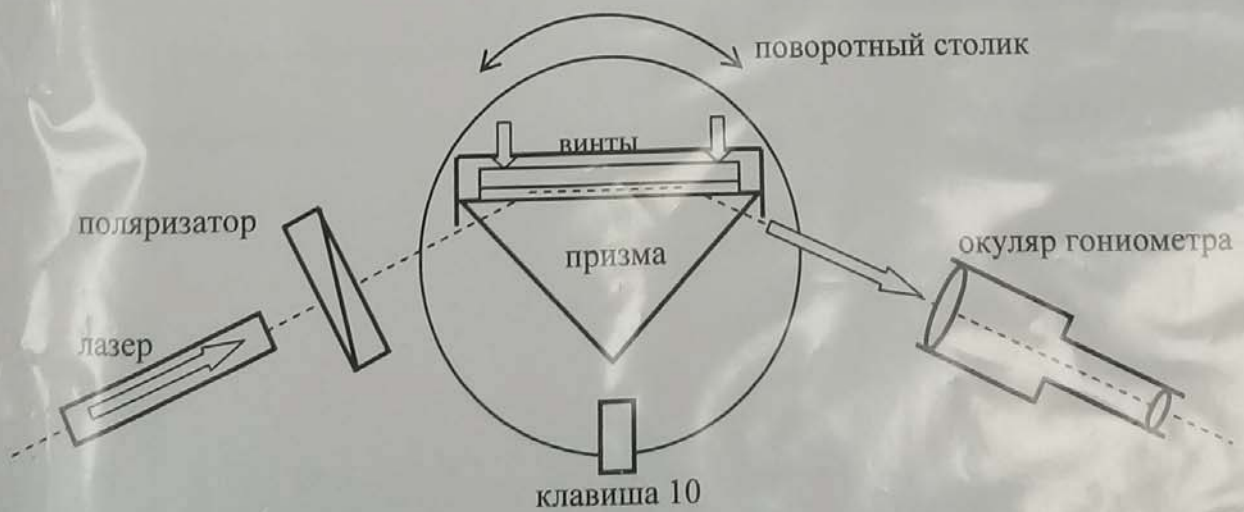


Рис.3 Градиентный профиль показателя преломления волноводного слоя.

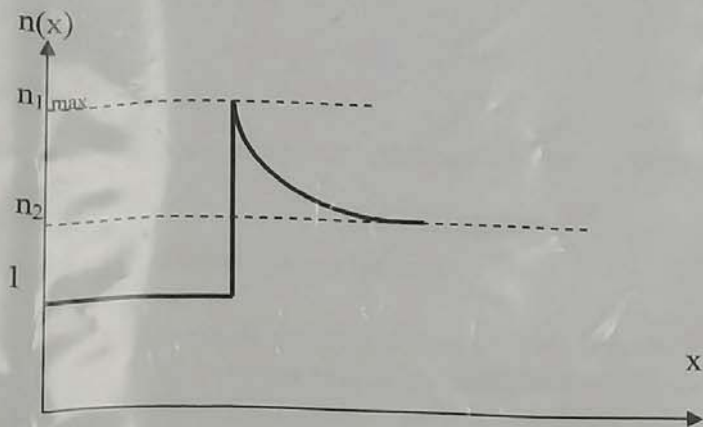


Рис.4 Треки мод в окуляре гониометра (если возбуждены все 5 мод).

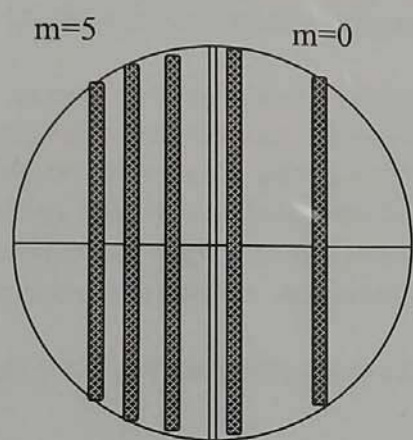
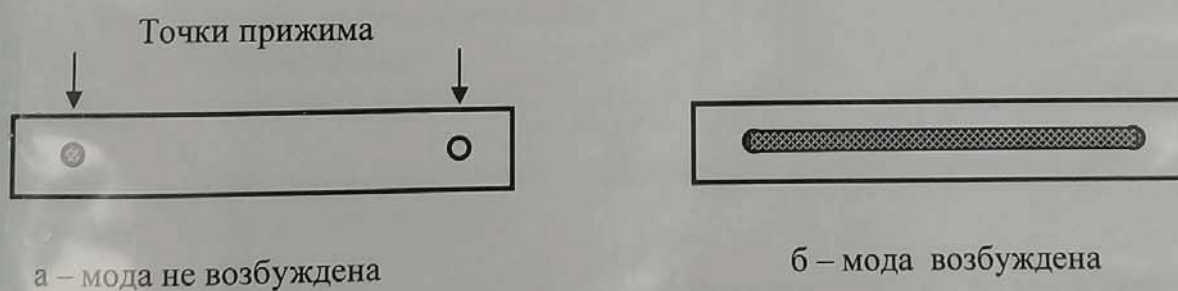


Рис.5 Трек моды в волноводном слое (вид через катетную грань призмы).



1. Цель работы.

Целью работы является исследование модовой структуры планарного оптического волновода.

2. Задание на лабораторную работу.

Перед выполнением работы должны быть изучены основные принципы распространения света в планарном оптическом волноводе и методы ввода и вывода оптической волны в волновод [1, с.27-39, 97-105; 2, с.18-28, 206-213].

Перед включением аппаратуры необходимо изучить описание лабораторной установки.

В процессе лабораторной работы производится:

- изучение принципов возбуждения направляемых мод в планарном оптическом волноводе;
- изучение состава лабораторного оборудования;
- экспериментальное возбуждение мод в градиентном оптическом волноводе;
- наблюдение волноводного распространения как по треку светового пучка в волноводе, так и по пучку излучения, выводимому из волновода;
- экспериментальное определение углов γ_m , под которыми выходят из призмы световые пучки, соответствующие m - той моде.

3. Описание лабораторной установки для исследования модовой структуры планарного волновода.

Оптическая схема лабораторной установки изображена на рис.2.

1 – оптический квантовый генератор;

3 – поляризатор;

4 – столик, который может вращаться относительно оси O;

5 – призма ввода - вывода излучения;

6 – оптический волновод;

7 – прижимы ввода а) и вывода б);

8 - экран;

9 – коллиматор, который используется так же, как и автоколлиматор (может вращаться относительно оси O).

Ход лучей в установке показан пунктиром. Вся оптическая схема укреплена на гониометре Г-5. При отжатом рычаге 10 коллиматор может вращаться относительно неподвижного столика. Столик и лазер при этом неподвижны друг относительно друга. При нажатом рычаге 10 коллиматор вращается вместе со столиком и призмой относительно лазера.

В н и м а н и е : Гониометр Г-5 является весьма точным и дорогостоящим прибором. Поэтому категорически запрещается вращать какие-либо винты, кроме измерительного винта 12.

Отсчет углов производится в окуляре 13. Необходимо помнить, что всегда измеряется угол между центральной осью коллиматора и прямой, лежащей в плоскости вращения, жестко связанной со столиком (а значит и с призмой).

4. Методические указания к выполнению работы.

5.

4.1 Изучить теоретические сведения по данной работе, изложенные в [1, с.27-39, 97-105; 2, с.18-28,206 - 213].

При подготовке к лабораторной работе следует иметь в виду, что в работе исследуется градиентный планарный оптический волновод, который получен следующим образом: стеклянная пластинка, изготовленная из натриевого силикатного стекла, помещалась в расплав KNO_3 и выдерживалась в нем при $400\text{ }^\circ\text{C}$ в течение шести часов. При этом часть ионов Na на поверхности пластины замещалась ионами K , что привело к увеличению коэффициента преломления в тонком слое материала пластины. Наличие слоя с повышенным показателем преломления является необходимым для осуществления волноводного распространения в данной структуре, которая и является планарным волноводом.

В простейшем геометрическом приближении распространение световой волны в градиентном волноводе можно представить в виде набора лучей, испытывающих полные внутренние отражения от границы поверхности волновода с воздухом (точка 2) и внутри волновода (точка 1), рис.1.

Рис.3 - $n(x)$ – зависимость показателя преломления волноводного слоя от координаты x .

При изучении свойств волноводного распространения следует обратить внимание на то, что набор волноводных мод дискретен. Каждая мода может быть охарактеризована постоянной распространения β_m вдоль оси z (фазовой постоянной), $\beta_m = k n_1 \sin\theta_m$, где k – волновое число, $k = 2\pi/\lambda$, n_1 – показатель преломления поверхностного слоя волновода, λ – длина волны света. Число направляемых волноводных мод и значения β_m зависят от функции показателя преломления $n(x)$ и поляризации световой волны. Уравнения для нахождения β_m могут быть найдены из условия существования стоячих волн в направлении x .

Исследование модовой структуры (измерение β_m) планарного волновода в лабораторной работе проводится с помощью призмного устройства ввода - вывода излучения (рис.3). При этом необходимо помнить, что если между призмой и волноводом существует малый (порядка $0,1\lambda$) зазор, то часть световой волны, падающей в призме под углом φ ,

большим критического угла полного внутреннего отражения $\varphi_{кр} = \arcsin \frac{1}{n_p}$, проникает в

волноводный слой за счет туннельного эффекта. Здесь n_p – показатель преломления призмы. Для возбуждения волноводной моды с номером m необходимо обеспечить равенство постоянных распространения волны в призме и волноводе вдоль оси z , т.е.

$k \cdot \sin \varphi_m \cdot n_p = \beta_m = k \cdot n_p \cdot \sin(A + \arcsin \frac{\sin \gamma_m}{n_p})$, что можно достигнуть выбором угла γ . Таким

образом, изменяя угол γ , можно последовательно возбуждать все волноводные моды. Если для вывода излучения используется аналогичная призма, то свет выводится из волновода в виде пучка, который распространяется под углом γ_m к гипотенузной грани призмы.

4.2. Ознакомиться с описанием лабораторной установки (разд.3).

4.3. Экспериментально исследовать процесс возбуждения волноводных мод.

Для этого включить источник питания лазера. Вращая ручку поляризатора, установить стрелку на поляроиде вертикально. При этом электрический вектор E лазерного излучения параллелен оси вращения O призмы и лежит в плоскости волновода (возбуждаются ТЕ-моды);

Вращая коллиматор вместе со столиком относительно лазерного пучка (клавиша 10 нажата), добиться возбуждения одной из волноводных мод. При этом должен наблюдаться светящийся трек между точками ввода 7а и вывода 7б излучения (рис.5);

В окуляре гониометра выводимая из призмы мода будет наблюдаться в виде яркой вертикальной светящейся полосы (рис.4). При увеличении угла падения света на призму будут последовательно возбуждаться моды с большими номерами ($m = 0, 1, 2, 3$ и т.д.),

соответствующие им вертикальные полосы в окуляре будут располагаться левее полосы основной моды (моды с номером 0) .

Вращая коллиматор относительно столика (рычаг 10 отжат), совместить вертикальную полосу – пятно моды , соответствующее пучку, вышедшему из волновода, с центральной вертикальной риской в окуляре коллиматора;

Отсчитать угол α_m , соответствующий возбуждению m моды , в измерительном окуляре 13. Для этого необходимо ручкой 12 совместить двойные штрихи на верхней и нижней шкалах и записать показания (см. плакат на установке) в табл.1;

Смотря в окуляр коллиматора и вращая коллиматор вместе со столиком относительно лазера (рычаг 10 нажат), добиться возбуждения следующей моды. Произвести измерения угла вывода для этой моды;

Провести измерения для всех остальных возбуждаемых мод (4 - 5 мод);

Направить автоколлиматор приблизительно перпендикулярно катетной грани призмы (рычаг 10 отжат), из которой выходит выводимый из волновода свет. Найти в поле зрения автоколлиматора изображение светящегося креста и , поворачивая автоколлиматор относительно призмы , совместить вертикальную линию креста с вертикальным штрихом окуляра автоколлиматора. При этом центральная ось коллиматора точно перпендикулярна катетной грани призмы;

Отсчитать угол τ в окуляре 13 и записать в табл.1;

Рассчитать углы вывода $\gamma_m = \alpha_m - \tau$ для каждой измеренной моды ;

Установить стрелку на поляроиде горизонтально. При этом магнитный вектор **H** лазерного излучения параллелен оси вращения **O** и лежит в плоскости волновода (возбуждаются ТМ-моды);

Проделать измерения и рассчитать углы вывода для всех ТМ-мод .

4.4. Рассчитать постоянные распространения для ТЕ и ТМ-мод по формуле :

где $\lambda = 0,6328$ мкм, $n_p = 1,64$, угол $A = 44^\circ 59' 22''$

$$\beta_m = \frac{2\pi}{\lambda} \cdot n_p \cdot \sin(A + \arcsin \frac{\sin \gamma_m}{n_p})$$

ТЕ-моды					ТМ-моды					
m	0	1	2	3	4	0	1	2	3	4
α_m										
τ										
$\alpha_m - \tau$										
β_m										

5. Содержание отчета.

Отчет по лабораторной работе должен содержать:

1. Функциональную схему лабораторного макета (рис.2);
2. Результаты измерений (таблица 1) ;
3. Результаты расчетов по формулам п.4.4.
4. Выводы по лабораторной работе и анализ полученных результатов.

Лабораторная работа № 3

«Измерение параметров одномодовых волоконных световодов»

Цель работы:

Изучение методов измерения вносимого затухания в оптических линейных трактах, способов обработки результатов измерений, получение навыков работы с современными оптическими тестерами.

Подготовка к работе:

При подготовке к работе должны быть изучены:

1. Следующие разделы учебника по курсу Линий связи (Гроднев И. И., Верник С. М. Линии связи. Учебник для вузов.- 5-е изд., перераб. и доп.- М.: Радио и связь, 1988.- 544 с.: ил.)

- Волоконные световоды и принцип их действия (разд. 5.23)
- Волновая теория передачи по световодам (разд. 5.25)
- Затухание световодов (разд. 5.26)

2. Следующие разделы учебного пособия М.С. Былина, С.Ф. Глаголев, Л.Н. Кочановский, В.В. Пискунов. Измерение параметров волоконно-оптических линейных трактов.- Спб, 2002 (издание СПбГУТ):

- Собственные потери (разд. 4.2.1)
- Потери в стыках ВС (разд. 4.2.2)
- Измерение вносимого затухания методом сравнения уровней (разд. 4.2.3)

ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ

Состав установки

Моделируемая лабораторная установка состоит из одномодового источника оптического излучения (ИИ), оптического аттенюатора (ОА), приемника оптического излучения (ПИ), набора катушек оптического волокна (ОВ) и оптических поводков (ОП).

Источник излучения

ИИ (рис. 2.1) позволяет на одном оптическом выходе иметь излучение с длинами волн $\lambda=1310$ и 1550 нм. Кроме того, возможен режим поочередного переключения длины волны ИИ с $\lambda=1310$ на 1550 нм и обратно. Излучение ИИ может быть непрерывным (частота модуляции $f=0$ Гц) с постоянной мощностью или модулированным с частотами $f=270$, 1000 или 2000 Гц.

На передней панели ИИ находятся 6 клавиш:

- 1к - включение/ выключение питания.
- 2к - включение длины волны $\lambda=1310$ нм.

3к - включение длины волны $\lambda=1550$ нм.

4к - выбор частоты модуляции $f=0, 270, 1000$ или 2000 Гц.

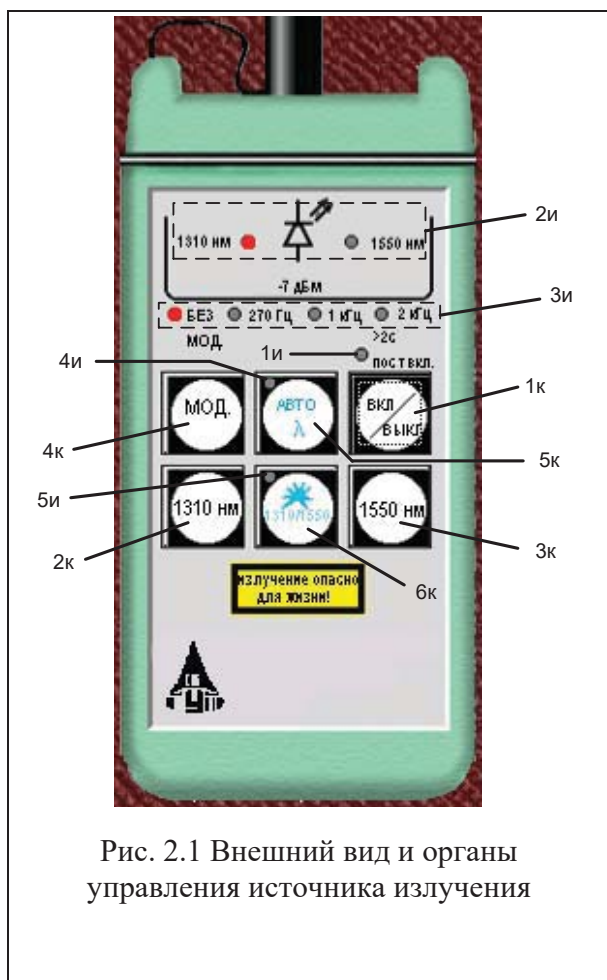


Рис. 2.1 Внешний вид и органы управления источника излучения

5к - включение режима поочередного переключения длин волн ИИ с $\lambda=1310$ на 1550 нм и обратно.

6к - включение режима передачи информации об установленной длине волны ИИ.

Нажатие клавиш производится щелчком мыши на выбранной клавише. На передней панели ИИ находятся 9 светодиодных индикаторов:

1и – индикатор включения прибора на постоянную работу (режим экономии электроэнергии отключен).

2и – два индикатора, показывающих какой источник включен.

3и – четыре индикатора частоты модуляции источника.

4и – индикатор режима поочередного переключения длин волн ИИ с $\lambda=1310$ на 1550 нм и обратно.

5и – индикатор включения режима передачи информации об установленной длине волны ИИ.

Уровень выходной оптической

мощности в непрерывном режиме излучения должен превышать $p = -7$ дБм. При включении модуляции выходная мощность уменьшается примерно на 3 дБ.

Кратковременное нажатие на клавишу вкл/выкл включает ИИ на 2 минуты, после чего он автоматически отключается. Это позволяет увеличить срок непрерывной работы ИИ. Если удерживать клавишу вкл/ выкл более 2 секунды, то ИИ включается на неопределенное время и может быть выключен лишь повторным нажатием той же клавиши.

При включении режима поочередного переключения длин волн ИИ с $\lambda=1310$ на 1550 нм и обратно продолжительность излучения на каждой из указанных длин волн составляет 2 секунды.

Оптический разъем ИИ защищается от загрязнения колпачком, который снимается перед проведением измерений щелчком мыши.

Оптический аттенюатор

ОА (рис. 2.2) предназначен для внесения в волоконно-оптический тракт на данной длине волны известного регулируемого затухания от $a=3$ до 60 дБ с разрешающей способностью $\Delta a = 0.05$ дБ. Воспроизводимость установленной величины затухания ± 0.1 дБ. Максимальный входной уровень ОА при котором сохраняются параметры ОА составляет +20 дБм (100 мВт). Затухание устанавливается с помощью вращающейся рукоятки (1), которая позволяет изменять затухания в указанных пределах за 20 оборотов. Рукоятку можно поворачивать непосредственно с помощью «мыши» или с помощью нажатия «мышью» двух клавиш (2), расположенных на экране дисплея ниже ОА. Величина установленного затухания отображается на буквенно-цифровом жидкокристаллическом индикаторе (ЖКИ) (3). При выключении питания установленная величина затухания сохраняется, а при вращении рукоятки при выключенном питании величина затухания изменяется, но ее величина измерителю без включения питания не известна.

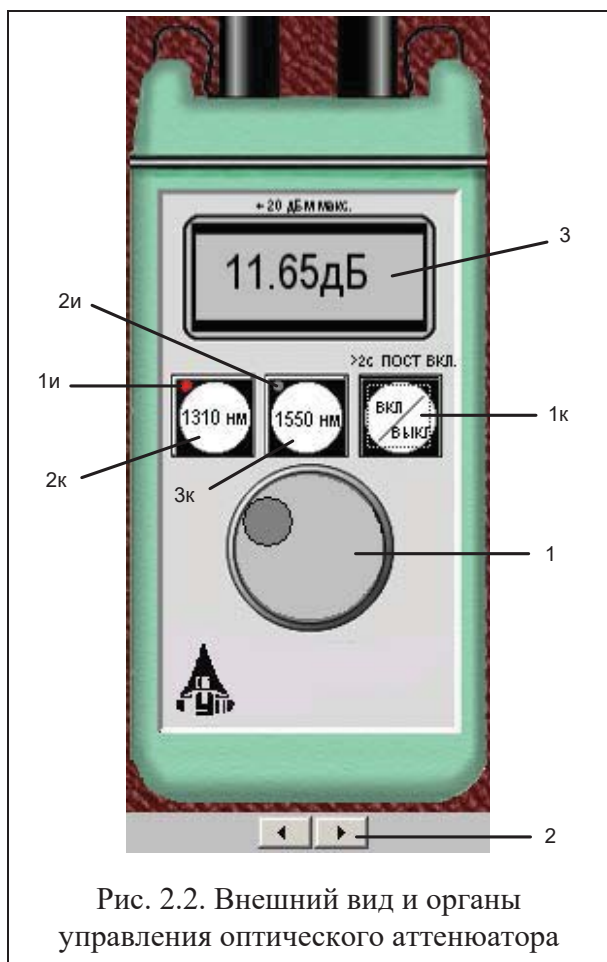


Рис. 2.2. Внешний вид и органы управления оптического аттенюатора

На передней панели ОА находятся 3 клавиши:

- 1к - включение/ выключение питания.
- 2к - величина затухания, отображаемая на ЖКИ, будет соответствовать длине волны $\lambda=1310$ нм.
- 3к - величина затухания, отображаемая на ЖКИ, будет соответствовать длине волны $\lambda=1550$ нм.

Нажатие клавиш производится щелчком мыши на выбранной клавише.

На передней панели ОА находятся 2 светодиодных индикатора:

- 1и - величина затухания, отображаемая на ЖКИ, соответствует длине волны $\lambda=1310$ нм.
- 2и - величина затухания, отображаемая на ЖКИ, соответствует длине волны $\lambda=1550$ нм.

Кратковременное нажатие на клавишу вкл/выкл включает ОА на 2 минуты, после чего он автоматически отключается. Это позволяет увеличить срок непрерывной работы ОА. Если удерживать клавишу вкл/ выкл более 2 секунд, то ОА включается на неопределенное время и может быть выключен лишь повторным нажатием той же клавиши. Информация о включении ОА на неопределенное время отображается на ЖКИ словом «ПОСТ ВКЛ».

Оптические разъемы ОА защищаются от загрязнения колпачком, который снимается перед проведением измерений щелчком мыши.

Приемник оптического излучения

ПИ (рис. 2.3) позволяет проводить следующие измерения:

1. измерять уровень мощности оптического излучения в дБм,
2. измерять мощность оптического излучения в мВт,
3. измерять затухание в волоконно-оптическом тракте и в пассивных компонентах волоконно-оптических линий связи в дБ.

При всех измерениях уровень оптической мощности на входе ПИ не должен превышать 20 дБм (100 мВт). Используемый в качестве чувствительного элемента *p-i-n* фотодиод выполняет функцию линейного преобразования оптической мощности P_f в фототок I_f . Последний усиливается и одновременно преобразуется в напряжение в усилителе с коэффициентом передачи K_λ , которое проходит через усредняющий фильтр нижних частот (ФНЧ) и поступает на аналого-цифровой преобразователь (АЦП), управляемый микроконтроллером.

Результат измерения в мВт пропорционален величине постоянного напряжения U_f поступающего на вход АЦП, которое в свою очередь пропорционально величине фототока I_f и входной оптической мощности P_f

$$U_f = P_f \cdot S_\lambda \cdot K_\lambda. \quad (2.1)$$

В связи с тем, что чувствительность всех квантовых фотоприемников, в том числе и *p-i-n* фотодиодов, сильно зависит от длины волны излучения для исключения этой погрешности необходимо выполнить условие $S_\lambda \cdot K_\lambda = const$ для любой длины волны λ измеряемого излучения.

Для оптической связи в настоящее время используют ограниченный набор длин волн излучения. Поэтому ПИ калибруются при их изготовлении и при очередной поверке (калибровке) только для этих длин волн. Используемый в работе ПИ калиброван на следующие длины волн $\lambda = 850, 1300, 1310$ и 1550 нм. Калибровка практически сводится к регулировке величины K_λ до выполнения условия $S_\lambda \cdot K_\lambda = const$. Для переключения длин волн калибровки используется клавиша λ (2к) на передней панели ПИ.

Для получения результата измерения в дБм микроконтроллер должен выполнить математическую операцию логарифмирования цифрового значения $N_f = U_f$

$$N_1 = 10 \lg \frac{N_f}{N_0} = 10 \lg \frac{P_f}{1 \text{ мВт}}, \quad (2.2)$$

где $N_0 = U_0 = 1 \text{ мВт} \cdot S_\lambda \cdot K_\lambda$ - цифровое значение напряжения, которое возникает при входной оптической мощности, равной 1 мВт.

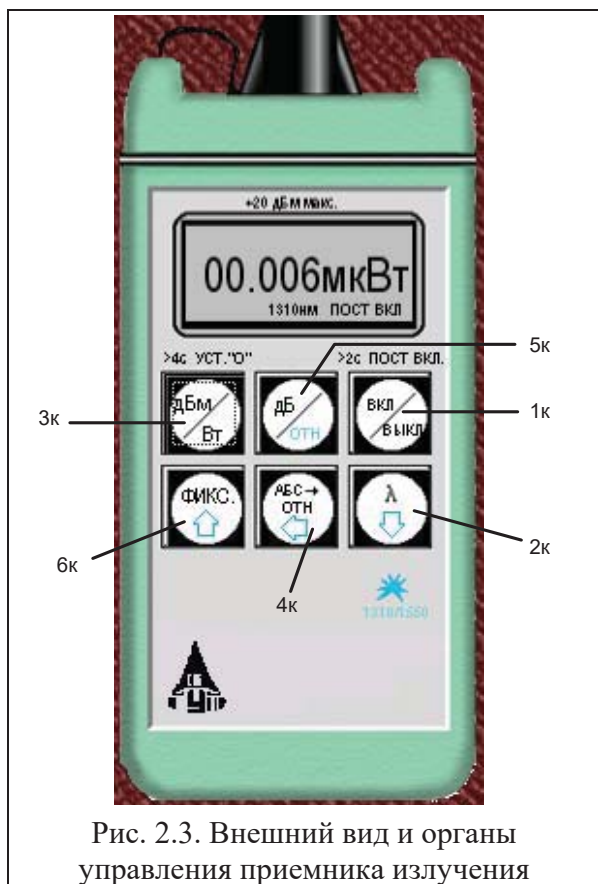


Рис. 2.3. Внешний вид и органы управления приемника излучения

На передней панели ПИ находятся 6 клавиш:

- 1к - включение/ выключение питания.
- 2к - выбор длины волны калибровки.
- 3к - выбор размерности результата измерения в дБм или мкВт. Эта же кнопка при ее удерживании более 4 с. позволяет автоматически компенсировать смещение нуля усилителя фототока на данной длине волны.
- 4к - установка любого зарегистрированного ПИ уровня оптической мощности в качестве 0 дБ.
- 5к - измерение относительного уровня входной оптической мощности в дБ по отношению к уровню принятому нами за 0 дБ. При повторном нажатии этой клавиши можно определить абсолютный уровень в дБм, который был ранее принят за 0 дБ.
- 6к - замораживание/ размораживание на ЖКИ его предыдущего состояния.

Нажатие клавиш производится щелчком мыши на выбранной клавише.

При нажатии клавиши 3к измеряется уровень входной оптической мощности в дБм или в мкВт. При нажатии клавиши 5к измеряется относительный уровень оптической мощности в дБ по отношению к уровню принятому нами за 0 дБ.

При работе со своим штатным ИИ возможен режим автоматического переключения длины волны калибровки ПИ при изменении длины волны ИИ. Этот режим действует и в том случае если длина волны ИИ поочередно переключается с $\lambda=1310$ на 1550 нм и обратно. Результат измерения определяется средней входной оптической мощностью. Поэтому при включении модуляции на ИИ показания ПИ уменьшаются примерно на 3 дБ.

Кратковременное нажатие на клавишу вкл/выкл включает ПИ на 2 минуты, после чего он автоматически отключается. Это позволяет увеличить срок непрерывной работы ПИ. Если удерживать клавишу вкл/выкл более 2 секунд, то ПИ включается на неопределенное время и может быть выключен лишь повторным нажатием той же клавиши. Информация о включении ПИ на неопределенное время отображается на ЖКИ словом «ПОСТ ВКЛ».

Оптический разъем ПИ защищается от загрязнения колпачком, который снимается перед проведением измерений щелчком мыши.

Оптические волокна

Основными параметрами исследуемых волокон являются длина и коэффициент затухания. Каждый вариант содержит две катушки с оптическими волокнами. Одна катушка имеет известную длину и задача стоит в определении ее коэффициента затухания. Вторая катушка содержит волокно того же типа и для нее по измеренному затуханию надо определить длину волокна. Задача осложняется наличием потерь в разъемных соединениях. Это обстоятельство приводит к увеличению погрешности определения коэффициента 1 волокна и длины 2 волокна.

Схемы измерения и работа с программой

Управление программой лабораторной работы осуществляется только с помощью мыши. Меню выбора схемы для проведения измерений вызывается нажатием кнопки «Команды» (рис. 2.4). В работе используются 3 схемы (рис. 2.5):

1. Схема измерения мощности ИИ (рис. 2.5а), команда «соединить одним поводком»;
2. Схема измерения затухания в оптическом волокне методом разности уровней (рис. 2.5б), команда «соединить двумя поводками через катушку». В этой схеме можно выбрать волокно для измерения: первое – катушка 1 или второе – катушка 2;
3. Схема измерения затухания в оптическом волокне методом замещения (рис. 2.5в), команда «соединить двумя поводками через аттенюатор».

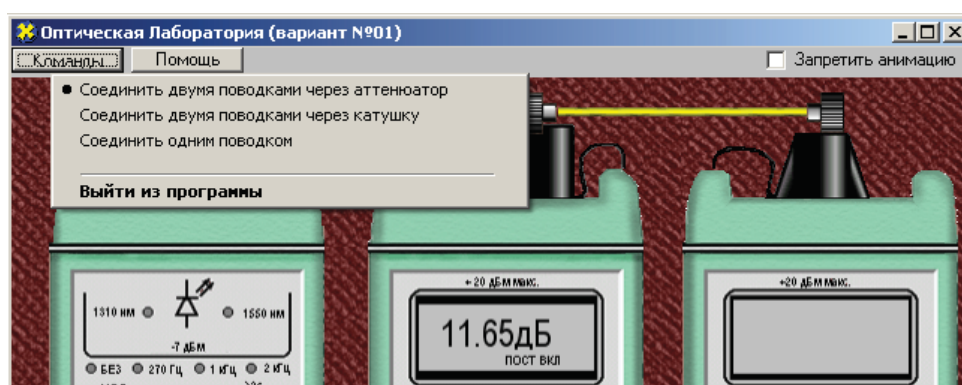


Рис. 2.4. Выбор схемы.

ПРОГРАММА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

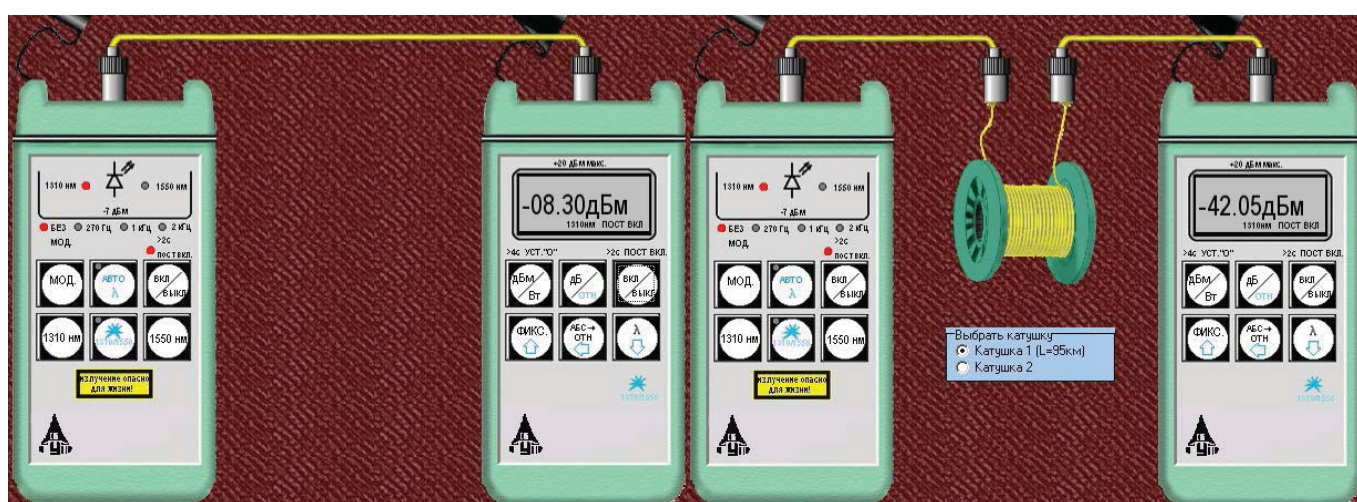
Подготовка к работе

1. При закрытом оптическом входе включить ПИ на непрерывную работу, удерживая кнопку вкл/выкл более 2 с.
2. Включить режим измерения в абсолютных единицах мощности- мкВт. Проверить смещение нуля на длинах волн 1310 и 1550 нм.
3. При наличии смещения произвести «установку 0» ПИ с помощью кнопки «выбор размерности результата измерения в дБм или мкВт» на двух длинах волн. С этой целью необходимо удерживать эту кнопку более 4 с.

4. Установить на ПИ необходимую длину волны, например 1310 нм.
5. Включить ИИ на непрерывную работу и установить такую же длину волны, как и на ПИ.
6. Установить режим работы ИИ без модуляции.

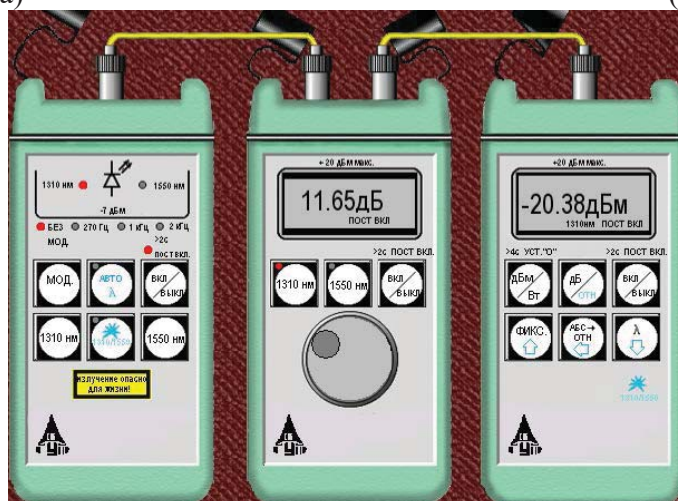
Измерение мощности излучателей, исследование разъемных соединителей

1. Соедините ИИ с ПИ одним коротким оптическим поводком (команда «Соединить одним поводком»).
2. Произведите многократные измерения уровней выходной оптической мощности излучателей ПИ на двух длинах волн в дБм и мкВт при отключении и повторном подключении оптического поводка к разъемам ИИ и ПИ. Результаты измерений поместите в таблицу 2.1.



(a)

(б)



(в)

Рис. 2.5. Схемы проведения измерений.

3. Рассчитайте средние значения, среднеквадратические отклонения (СКО) и СКО средних значений измеренных мощностей и уровней по следующим выражениям:

$$\text{Среднее значение: } \bar{X} = \frac{1}{N} \cdot \sum_{i=1}^N x_i \quad (2.3)$$

$$\text{СКО: } \sigma = \sqrt{\frac{1}{N-1} \cdot \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{X})^2} \quad (2.4)$$

$$\text{СКО среднего значения: } \sigma_0 = \frac{\sigma}{\sqrt{N}} \quad (2.5)$$

В приведенных формулах N – число проведенных измерений, x_i – результаты отдельных измерений. Результаты расчетов поместите в табл. 2.1.

Таблица 2.1

Коммутации разъема, соединяющего ИИ с ОБ				
№ коммутации	Мощность, Р, мкВт, при		Уровень, Y, дБм, при	
	$\lambda=1310$ нм	$\lambda=1550$ нм	$\lambda=1310$ нм	$\lambda=1550$ нм
1				
2				
3				
4				
5				
Среднее значение				
СКО				
СКО среднего				
Коммутации разъема, соединяющего ОБ с ПИ				
№ коммутации	Мощность, Р, мкВт		Уровень, Y, дБм	
	$\lambda=1310$ нм	$\lambda=1550$ нм	$\lambda=1310$ нм	$\lambda=1550$ нм
1				
2				
3				
4				
5				
Среднее значение				
СКО				
СКО среднего				

4. Для получения практических навыков работы с современным комплектом оптического тестера измерения повторите в 3 режимах:

- При ручной установке длин волн на ИИ и ПИ.
- При автоматическом определении ПИ длины волны ИИ.
- При поочередном автоматическом задании длин волн ИИ и автоматическом определении ПИ длины волны ИИ.

5. Сделайте выводы по полученным результатам.

Измерение вносимого затухания и коэффициента затухания оптического волокна

Измерение методом разности уровней

1. Соедините ИИ с ПИ коротким оптическим поводком.
2. Произведите многократные измерения уровней выходной оптической мощности излучателей ПИ Y_0 на двух длинах волн в дБм при отключении и повторном подключении поводка к разъему ИИ. Результаты измерений поместите в табл. 2.2.
3. Соедините ИИ с ПИ первым измеряемым оптическим волокном (команда «Соединить двумя поводками через катушку», катушка 1).
4. Произведите многократные измерения уровней выходной оптической мощности излучателей ПИ Y_1 на двух длинах волн в дБм при отключении и повторном подключении поводка к разъему ИИ. Результаты измерений поместите в табл. 2.2.

Таблица 2.2

Первое оптическое волокно $L_1 =$ км								
№ комм.	Y_0 , дБм при λ , нм		Y_1 , дБм при λ , нм		a , дБ при λ , нм		α , дБ/км при λ , нм	
	1310	1550	1310	1550	1310	1550	1310	1550
1								
2								
3								
4								
5								
Среднее								
СКО								
СКО среднего								

5. Рассчитайте затухание первого оптического волокна a и коэффициент затухания α по выражениям:

$$a = Y_0 - Y_1, \quad (2.6)$$

$$\alpha = \frac{a}{L_1}. \quad (2.7)$$

6. Соедините ИИ с ПИ вторым измеряемым оптическим волокном (команда «Соединить двумя поводками через катушку», катушка 2).
7. Произведите многократные измерения уровней выходной оптической мощности излучателей ПИ на двух длинах волн в дБм при отключении и повторном подключении поводка к разъему ИИ. Результаты измерений поместите в табл. 2.3.

Таблица 2.3

Второе оптическое волокно $\alpha =$	/	дБ/км (при $\lambda = 1310/1550$ нм)
--	---	--

№ комм.	Y_0 , дБм при λ , нм		Y_1 , дБм при λ , нм		a , дБ при λ , нм		α , дБ/км при λ , нм	
	1310	1550	1310	1550	1310	1550	1310	1550
1								
2								
3								
4								
5								
Среднее								
СКО								
СКО среднего								

8. Рассчитайте затухание a по формуле, приведенной в п. 5, и длину второго оптического волокна L_2 :

$$L_2 = \frac{a}{\alpha}. \quad (2.8)$$

Коэффициент затухания второго оптического волокна α примите равным коэффициенту затухания первого оптического волокна, рассчитанному в п. 5.

9. Для получения практических навыков в измерениях повторите измерения вносимого затухания на одной длине волны, используя методику запоминания и принятия за 0 дБ входного оптического уровня (на выходе короткого поводка). После установки нулевого уровня и подключения вместо поводка исследуемых оптических волокон результат измерения будет соответствовать вносимому на этой длине волны затуханию. Сравните полученные таким образом результаты с полученными ранее в п. 7, оцените удобства этого метода.

10. Сделайте выводы по полученным результатам.

Измерение методом замещения

1. Соедините ИИ с ПИ первым оптическим волокном.
2. Измерьте уровень выходящей из первого волокна оптической мощности на двух длинах волн.
3. Вместо первого волокна подключите короткими поводками ОА (команда «соединить двумя поводками через аттенюатор») и, изменяя его затухание, добейтесь таких же показаний ПИ, которые были получены во втором пункте для двух длин волн. Результаты измерений поместите в таблицу 4.
4. Повторите измерения по пунктам 1-3 для второго оптического волокна. Результаты также поместите в таблицу 2.4.

Таблица 2.4

№ волокна	Y_1 , дБм при λ , нм		a , дБ при λ , нм		α , дБ/км при λ , нм	
	1310	1550	1310	1550	1310	1550
1						
2						

Измерение параметров оптического аттенюатора

1. Соедините ИИ с ПИ коротким поводком.
2. Произведите измерение уровней выходной оптической мощности излучателей ПИ на двух длинах волн в дБм. Результаты измерений поместите в таблицу 5.
3. Соедините ИИ с ПИ через ОА и уменьшайте его затухание до предела. Запишите в таблицу 5 показания ПИ Y_{max} и аттенюатора A_{min}^{izm} . Увеличивайте затухание ОА до максимума. Запишите в таблицу 2.5 показания ПИ Y_{min} и аттенюатора A_{max}^{izm} . Повторите измерения на другой длине волны.

Таблица 2.5

Длина волны, нм	Y_0 , дБм	Y_{max} , дБм	Y_{min} , дБм	A_{min}^{izm} , дБ	A_{max}^{izm} , дБ	A_{min} , дБ	A_{max} , дБ
1310							
1550							

4. Рассчитайте минимальное и максимальное затухания ОА:

$$A_{min} = Y_0 - Y_{max}, \quad (2.9)$$

$$A_{max} = Y_0 - Y_{min}. \quad (2.10)$$

СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

Отчет по лабораторной работе должен содержать:

1. Схему измерения уровня выходного оптического сигнала излучателя.
2. Схему измерения затухания в катушке с волокном методом разности уровней.
3. Схему измерения затухания в катушке с волокном методом замещения с помощью аттенюатора.
4. Таблицы 2.1-2.5 с результатами экспериментов и расчетов.
5. Выводы по полученным результатам.

Исследование характеристик электрооптического модулятора света

1. Цель работы

Целью работы является исследование модуляционных характеристик электрооптического модулятора света (ЭОМ) – т.е. зависимости интенсивности света на выходе модулятора от напряжения, приложенного к модулятору, при различных конфигурациях оптической схемы модулятора.

2. Задание на лабораторную работу

Перед выполнением работы должны быть изучены свойства поляризованного света в двулучепреломляющих кристаллах, закономерности электрооптического эффекта и основные схемы построения электрооптических амплитудных и фазовых модуляторов света [3, с.352-357; 4, с.231-154].

Перед включением аппаратуры необходимо изучить описание лабораторной установки.

В процессе выполнения лабораторной работы производится:

- изучение состава лабораторного оборудования ;
- измерение модуляционных характеристик электрооптического модулятора света для различных состояний поляризации входного светового пучка (5 зависимостей);
- расчет теоретической зависимости интенсивности света на выходе модулятора от приложенного к электрооптическому кристаллу напряжения.

3. Описание лабораторной установки для исследования характеристик электрооптического модулятора

Схема экспериментальной установки показана на рис.1.

В качестве источника света используется гелий-неоновый лазер (1), работающий в непрерывном режиме на длине волны 0,6328 мкм. Выходное излучение лазера линейно поляризовано, причем направление поляризации (направление вектора E световой волны) составляет угол 45° с главными диэлектрическими осями X и Y электрооптического кристалла модулятора (направление P на рис.2). Световой пучок лазера поступает на входную апертуру электрооптического кристалла (2), на противоположные боковые поверхности которого нанесены электроды (3). Из выходной апертуры модулятора световой пучок направляется на анализатор (4), ось пропускания которого повернута на 90° относительно исходного направления поляризации излучения лазера. Свет, прошедший через анализатор (4), поступает на фотоприемник (5), работающий в фотогальваническом режиме. Фототок, генерируемый фотодиодом, пропорционален интенсивности световой волны, падающей на светочувствительную площадку фотодиода. Величина фототока измеряется прибором В7-40 (6), работающим в режиме измерения постоянных токов. На электроды (3) электрооптического кристалла подается постоянное напряжение от регулируемого источника (7). Величина постоянного напряжения может изменяться от 0 до 299 вольт.

Между лазером (1) и электрооптическим модулятором (2) располагается четвертьволновая фазовая пластинка (8), размещенная в гнезде (9) и входной поляризатор (10), смонтированный на подвижке (11). Поляризатор (10) закреплен во вращающейся оправке таким образом, что направление оси пропускания его может поворачиваться относительно главных диэлектрических осей электрооптического кристалла. Направление оси пропускания поляризатора показано меткой на вращающейся обойме поляризатора. Направление плоскости поляризации входного излучения лазера (P) оси Y кристалла и оси пропускания поляризатора (A) обозначены метками на неподвижной части оправки поляризатора. Четвертьволновая пластинка (8) и поляризатор (10) в процессе выполнения лабораторной работы могут выводиться из траектории луча. Когда четвертьволновая пластинка введена в оптический тракт установки, линейно поляризованный свет лазера, проходя через фазовую пластинку, становится циркулярно поляризованным. Циркулярно поляризованный свет, проходя через поляризатор,

превращается в линейно поляризованный свет, направление плоскости поляризации которого соответствует направлению оси пропускания поляризатора и может изменяться путем вращения поляризатора.

Поперечное сечение эллипсоида показателя преломления электрооптического кристалла до и после приложения внешнего электрического поля E в направлении оси Y показано на рис.2 соответственно сплошной и пунктирной линиями. На этом же рисунке показаны направления плоскости поляризации исходного лазерного излучения P и оси пропускания анализатора A .

4. Методические указания к выполнению работы

В работе исследуются модуляционные характеристики электрооптического модулятора, изготовленного на кристалле метаниобата лития. Электрическое поле, приложенное к кристаллу, изменяет размеры полуосей и положение в пространстве эллипсоида показателя преломления. В данном случае, если поле приложено к кристаллу параллельно оси Y , y -полуось эллипсоида уменьшается на величину Δn , а x -полуось увеличивается на эту же величину, так что показатели преломления для соответствующих компонент вектора напряженности электрического поля оптической волны составят $n_x = n_0 + \Delta n$, $n_y = n_0 - \Delta n$. И для случая линейного электрооптического эффекта, т.е. эффекта Поккельса, изменение показателя преломления прямо пропорционально напряженности внешнего модулирующего поля E .

$$\Delta n = \frac{n_0^3}{2} r_{22} E, \quad (1)$$

где $n_0 = 2,286$ – показатель преломления обыкновенного луча; $r_{22} = 6,8 \cdot 10^{-12}$ м/В – электрооптический коэффициент ниобата лития для данной ориентации поля.

Изменение показателей преломления n_x и n_y приводит к изменению взаимной разности фаз между компонентами E_x и E_y электромагнитного поля световой волны, распространяющейся в электрооптическом кристалле.

$$\Delta\varphi = \frac{2\pi}{\lambda} (n_x - n_y) l, \quad (2)$$

где λ – длина волны излучения, l – расстояние, пройденное электромагнитной волной в кристалле. Считая, что поле между электродами однородно, можно записать разность фаз в виде

$$\Delta\varphi = \frac{2\pi n_0^3 r_{22} U l}{\lambda d}, \quad (3)$$

где d – расстояние между электродами, l – длина кристалла ($d/l = 0,05$ для данного модулятора), U – напряжение, приложенное к модулятору.

Величина

$$U = \frac{\lambda d}{2n_0^3 r_{22} l} \quad (4)$$

обеспечивает фазовый сдвиг, равный π , и называется полуволновым напряжением.

Для преобразования модуляции поляризации в модуляцию интенсивности света после прохождения электрооптического кристалла световую волну пропускают через выходной поляризатор, называемый анализатором. Оси пропускания входного поляризатора и анализатора обычно скрещены под углом 90° , и в этом случае интенсивность света на выходе анализатора изменяется по закону

$$I = I_{\max} \sin^2 \frac{\Delta\varphi}{2}, \quad (5)$$

где I_{\max} – максимальная интенсивность света, прошедшего через модулятор. Зависимость $I_{\text{вых}} = f(U_{\text{мод}})$ называется модуляционной характеристикой модулятора по интенсивности.

Порядок выполнения лабораторной работы

4.2. Ознакомиться с описанием лабораторной установки, с расположением и назначением органов управления.

4.3. Экспериментально исследовать основную модуляционную характеристику модулятора. Для этого, с разрешения преподавателя, включить блок питания лазера, источник постоянного напряжения, вольтметр.

Удалить из оптического тракта четвертьволновую пластинку (вынуть стойку с пластинкой из гнезда) и входной поляризатор (выдвинуть поляризатор из луча, пользуясь винтом подвижки, на которой закреплена оправка поляризатора). Изменяя напряжение, приложенное к модулятору, с помощью цифрового набирателя на передней панели источника постоянного напряжения, измерять величину фототока фотодиода, соответствующую каждому напряжению. Диапазон изменения напряжения – от 0 до 299 В, шаг – 10 В. Построить график

зависимости
$$f(U_{\text{мод}}) = \frac{I_{\text{фд}}(U_{\text{мод}})}{I_{\text{фд max}}}$$

где $I_{\text{фд max}}$ - максимальное значение фототока при данной конфигурации оптической схемы.

По графику определить величину напряжения, соответствующего максимальному пропусканию модулятора.

4.4. Ввести в оптический тракт установки четвертьволновую пластинку – установить стойку с пластинкой на оптической плите. Повторить измерения модуляционной характеристики в диапазоне от 0 до 299 В при наличии фазовой пластинки в оптическом тракте.

4.5. Ввести в оптический тракт входной поляризатор. Для этого необходимо, вращая ходовой винт подвижки, установить поляризатор таким образом, чтобы луч лазера проходил примерно через центр поляризатора. Поворачивая вращающуюся оправку поляризатора, совместить метку на оправке с меткой 1 на обойме. При этом направление плоскости поляризации света, прошедшего через поляризатор, составляет $+45^\circ$ с осью Y кристалла и 90° с осью пропускания анализатора. Измерить модуляционную характеристику модулятора при данном положении входного поляризатора.

Совместить метку на оправке поляроида с меткой 2 на обойме. При этом направление плоскости поляризации света, прошедшего поляризатор, параллельно оси Y у кристалла. Измерить модуляционную характеристику модулятора при данном положении входного поляризатора.

Совместить метку на оправке поляроида с меткой 3 на обойме. При этом направление плоскости поляризации света, прошедшего через поляризатор, составляет -45° с осью Y кристалла и параллельно оси пропускания анализатора. Измерить модуляционную характеристику модулятора при данном положении входного поляризатора.

Построить графики экспериментальных зависимостей, измеренных по пп. 4.3, 4.4, 4.5. (Все зависимости нормировать к соответствующему максимальному значению).

4.6. Построить теоретическую зависимость модуляционной характеристики по формулам (3), (5). Рассчитать полуволновое напряжение для данного модулятора по формуле (4). Сравнить теоретически рассчитанное значение полуволнового напряжения с напряжением максимального пропускания модулятора, определенным по графику зависимости, измеренной в п. 4.3.

4.7. Объяснить поведение экспериментальных зависимостей, измеренных в п. 4.5 при различных ориентациях входного поляризатора.

5. Содержание отчета

Отчет по лабораторной работе должен содержать:

1. Схему лабораторной установки.
2. Результаты проведенных измерений в виде таблицы.
3. Графики теоретической зависимости модуляционной характеристики и экспериментально измеренные зависимости по пунктам 4.3, 4.4, 4.5 в нормированном виде (всего 6 зависимостей на одном графике).
4. Расчетное значение полуволнового напряжения.
5. Выводы по лабораторной работе и анализ полученных данных.

Контрольные вопросы

1. Что такое эллипсоид показателя преломления?
2. Как меняется эллипсоид показателя преломления одноосного электрооптического кристалла во внешнем электрическом поле?
3. Расскажите о методах регистрации фазовой модуляции.
4. Расскажите о методах преобразования фазовой модуляции в модуляцию интенсивности.
5. Что такое полуволновое напряжение?
6. Какие типы электрооптических модуляторов Вы знаете?
7. Преимущества и недостатки схем продольного и поперечного электрооптического модулятора.

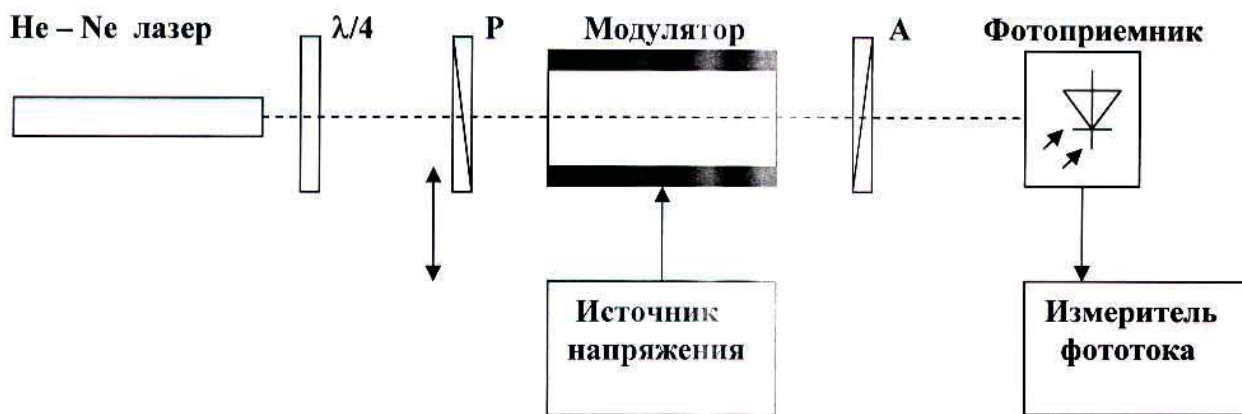


Рис. 1

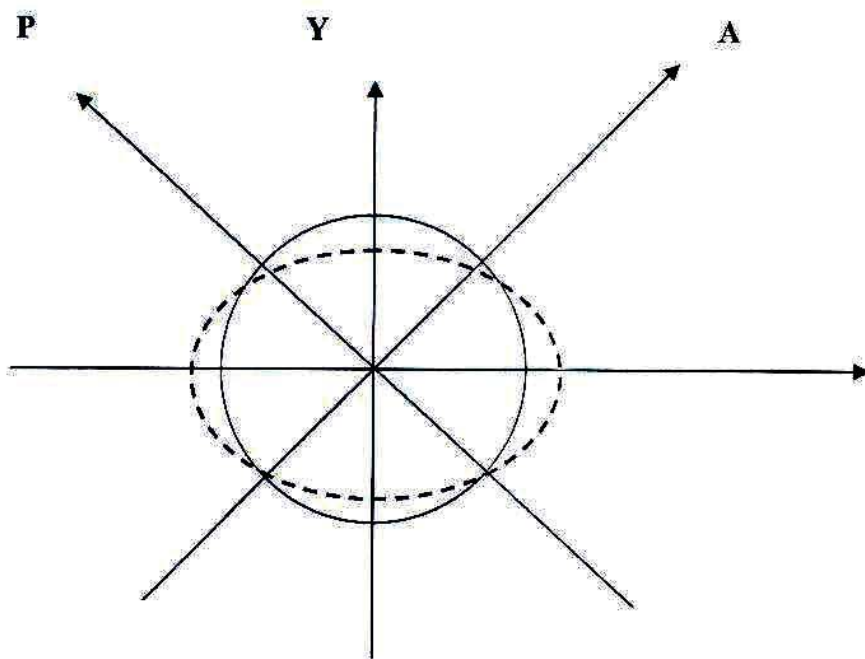


Рис. 2

5 Исследование конструкций полупроводниковых излучателей.

Цель работы

Изучить конструкцию полупроводниковых излучателей.

Задание на лабораторную работу

Изучить конструкцию полупроводникового лазера на основании технической документации изготовителя и визуального наблюдения с применением инструментального микроскопа.

Оформить отчет по лабораторной работе.

Содержание отчета

цель работы,

краткие теоретические сведения о конструкции полупроводниковых излучателей

выполненный чертеж (схема) конструкции полупроводникового излучателя.

Теоретические сведения.

По конструкции различают светодиоды с поверхностным излучением и торцевым излучением.

При вводе излучения в волокно непосредственно с излучающей поверхности активного слоя, можно считать, что, по крайней мере, половина оптической мощности теряется, т. к. свет с активного слоя распространяется во всех направлениях. Небольшая часть оптической мощности может быть отражена путем базовой металлизации, внося тем самым часть оптической мощности в полезный световой поток. Другой простой путь решения заключается в ограничении излучения небольшой областью внутри кристалла большей площади. Этот подход впервые реализовали Баррас и Доусон и поэтому СИД такой геометрии обычно называют излучателями Барраса (рис. 2.2).

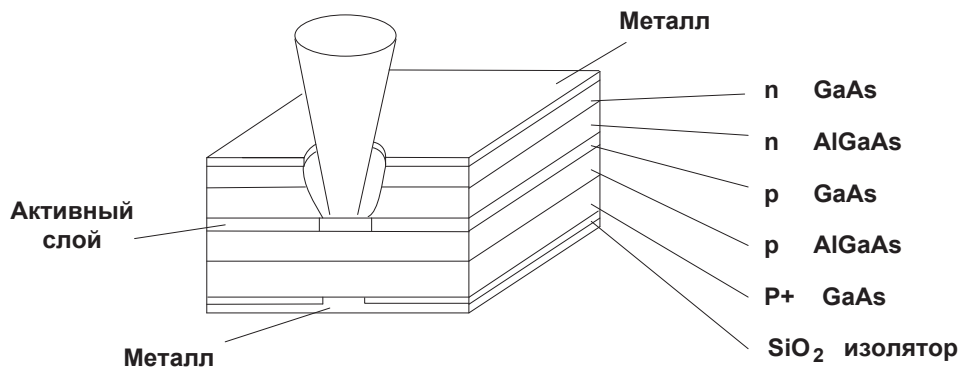


Рис. 2.2 Структура светодиода Барраса

В такой конструкции гравированная стенка позволяет минимизировать расстояние между активной зоной и волокном, а соответствующая форма контактов обеспечивает небольшую площадь излучения.

Большинство СИД с поверхностным, близким к ламбертовскому, излучением имеют большую цифровую апертуру, равную приблизительно 0.9. Для ее уменьшения во многих случаях используется особая форма линз, доводя NA до 0.2, но даже в этом случае излучающая поверхность достаточно велика для эффективного ввода излучения в одномодовое волокно. Уровень мощности света, вводимого в волокно, в лучшем случае обычно составляет 20 мкВт для градиентного волокна и 2 мкВт для одномодового волокна.

Лучшей эффективностью ввода излучения в волокно характеризуется СИД с торцевым излучением, обеспечивающим ввод около 50 мкВт (30% доступной оптической мощности) в градиентное волокно и 20 мкВт в одномодовое волокно. Конструкция диода приведена на рис. 2.3.

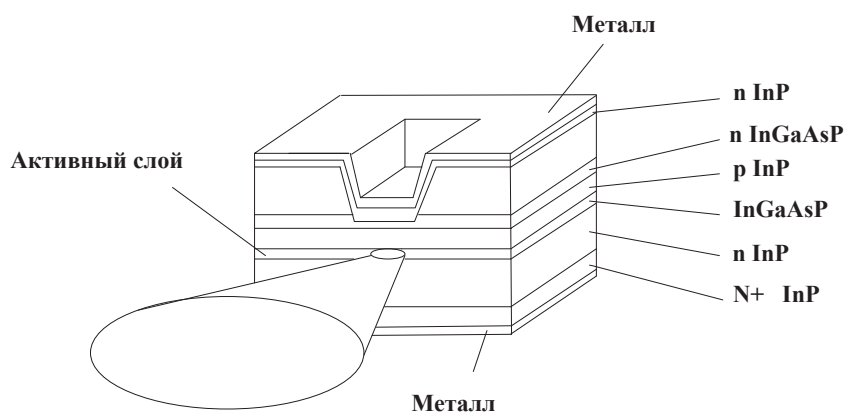


Рис. 2.3. Структура светодиода с торцевым излучением.

Один из путей построения СИД с торцевым излучением основан на технологии V-образных канавок, которая была разработана для создания лазерных диодов со световодом, сформированным путем распределения усиления. В этом случае обычная двойная гетероструктура покрывается двумя слоями типа n, которые образуют отрицательно смещенный p-n переход, а для создания проводящей полосы p типа в V-образной канавке напыляется цинк. Наконец, на переднюю грань наносится антиотражательное покрытие, а электрический контакт выполняется короче длины кристалла с тем, чтобы избежать вынужденной эмиссии. Плотность тока и качество оптического резонатора достаточно высоки для создания эмиссии, близкой к вынужденной. Результатом является более узкая ширина спектра (около 20 нм) и более высокая выходная мощность, но при более сильной температурной зависимости. Как правило, с точки зрения спектрального состава излучения СИД имеет достаточно большую ширину спектра, составляющую обычно от 40 до 80 нм на длине волны чистого GaAs, равной 870 нм. Излучение в дальней зоне СИД с торцевым излучением в этом случае эллиптическую форму. Типовые значения углов дальней зоны составляют 50° в вертикальном направлении и 100° в горизонтальном направлении.

При использовании СИД для передачи данных они характеризуются рядом недостатков, основными из которых являются:

- 1) сравнительно низкая полоса частот, равная 100 МГц, хотя достигнуты значения полосы частот до 1 ГГц, поэтому быстродействие СИД как минимум в 5 раз ниже по сравнению с лазером;
- 2) широкий спектр излучения, составляющий около 60 нм, что также снижает полосу частот вследствие монохроматической дисперсии;
- 3) низкая эффективность ввода излучения в оптическое волокно, даже для диодов с торцевым излучением.

При постоянном токе возбуждения СИД, имеет отрицательный температурный коэффициент выходной мощности, типовое значение которого находится в пределах от -0.5 до -1.5 %/°C для GaAlAs с $\lambda_0=850$ нм и InGaAs с $\lambda_0=1300$ нм. Поэтому для стабилизации мощности излучения и повышения надежности LED можно использовать термоэлектрические охладители, однако в большинстве случаев необходимость в электронной обратной связи не требуется.

Одной из разновидностей LED являются суперлюминесцентные диоды (SLED), которые отличаются большей по сравнению с лазерными диодами стабильностью, имеют меньший уровень шумов, а большая ширина спектра решает все проблемы, связанные с оптической интерференцией. Дополнительными преимуществами SLED в этом случае являются: высокая линейность, меньшее потребление энергии и вследствие низкой плотности тока, высокая надежность. Кроме этого, так как SLED не очень чувствительны к перегрузке, для управления ими можно использовать простые схемы управления. По своим характеристикам SLED занимают промежуточное место между СИД и лазерными диодами [3].

1.1 Лазерный диод

Принципиальным отличием лазерного диода (ЛД) от СИД является наличие в них встроенного оптического резонатора. Лазерный диод работает при значительно

больших значениях токов накачки, чем светодиод. Генерацию света в лазерном диоде определяют два механизма: спонтанная и стимулированная эмиссия. Спонтанная эмиссия имеет место в результате рекомбинации возбужденных электронов в зоне проводимости и дырок в валентной зоне, аналогично генерированию излучения в СИД. Из-за высокого показателя преломления активного слоя свет, достигая границ активного слоя, отражается от них и не выходит в другие слои структуры. Фотоны, созданные в результате спонтанной эмиссии, вызывают генерацию дополнительных фотонов путем стимулирования дополнительных рекомбинаций, а те в свою очередь создают дополнительные фотоны, т. е. происходит стимулированная эмиссия. Локализованный таким образом свет усиливается, и, когда сопутствующая этому процессу добавка энергии становится выше потерь, возникает лазерное излучение. Следовательно, при протекании через структуру полупроводникового лазера электрического тока, вначале, аналогично СИД, возникает естественное излучение, по мощности пропорциональное силе тока, но стоит току возрасти до некоторого порогового значения, мощность излучения резко возрастает, а само излучение становится лазерным.

Так как стимулированные фотоны когерентны с генерирующими фотонами, т. е. имеют одну и ту же длину волны и фазу, такое излучение имеет узкий спектр, а длина волны определяется свойствами материала лазерной структуры. В типовых лазерных диодах высота активной зоны составляет 5-10 мкм, ширина 0.1-0.2 мкм, а длина 300 мкм, при этом грани представляют собой полупрозрачные зеркала, ограничивающие объем резонатора. Эмиссия происходит с обеих граней и имеет идентичные характеристики излучения. Типовые значения порогового тока составляют от единиц до сотен миллиампер, а мощность лазерного излучения несколько десятков милливатт.

Таким образом, для возникновения лазерного излучения необходимо обеспечить определенный уровень тока, а так же выполнить условия электрического и оптического ограничений.

Наибольшее распространение получили лазеры с резонатором Фабри-Перо (FPL), лазер с распределенной обратной связью (DFB) и лазер с распределенным брэгговским отражением (DBR), с внешним резонатором.

В лазерных диодах с резонатором Фабри-Перо (FP лазеры, Fabry-Perot) резонатор образуется торцевыми поверхностями, окружающими с обеих сторон гетерогенный переход. Одна из сторон отражает свет с коэффициентом отражения близким к 100%, другая является полупрозрачной, обеспечивая, таким образом, выход излучения наружу. В спектре FP лазера наряду с главным пиком, в котором сосредоточена основная мощность излучения, существуют побочные максимумы. Этот эффект отсутствует у перечисленных трех других типов лазеров (DFB, EC, DBR)

Лазерные диоды с распределенной обратной связью (DFB лазер) и с распределенным брэгговским отражением (DBR лазер) имеют схожий резонатор с FP лазером, в который добавлена периодическая пространственная модуляционная структура. В DFB лазерах периодическая структура совмещена с активной областью (рис. 2.4), а в DBR лазерах периодическая структура вынесена за пределы активной области (рис. 5). Периодическая структура влияет на условия распространения и характеристики излучения. Преимуществами DFB и DBR лазеров по сравнению с FP лазером являются: уменьшение зависимости длины волны лазера от тока инжекции и температуры, высокая стабильность одномодовости и практически 100-процентная глубина модуляции. Температурный коэффициент $\Delta\lambda/\Delta T$ для FP лазера порядка 0,5-1 нм/°C, в то время как для DFB лазера порядка 0.07-0.09 нм/°C [3]. Основным недостатком DFB и DBR лазеров является сложная технология изготовления и, как следствие, более высокая цена.

В лазерном диоде с внешним резонатором (ECL) один или оба торца покрываются специальным слоем, уменьшающим отражение, и соответственно, одно или два зеркала ставятся вокруг полупроводниковой структуры. На рис. 2.6 показан пример EC лазера с одним внешним резонатором. Антиотражательное покрытие уменьшает коэффициент отражения примерно на 4 порядка, в то время

как другой торец активного слоя отражает до 30% светового потока. Зеркало, как правило, совмещает функции дифракционной решетки. Для улучшения обратной связи между зеркалом и активным слоем устанавливается линза. Увеличивая или уменьшая расстояние до зеркала, а также одновременно разворачивая зеркало-решетку, это эквивалентно изменению шага решетки – можно плавно изменять длину волны излучения, причем диапазон настройки достигает 120 нм. В силу этого, ЕС лазеры являются незаменимыми при разработке аппаратуры волнового уплотнения и измерительной аппаратуры для ВОЛС. По характеристикам они схожи с DFB и DBR лазерами.

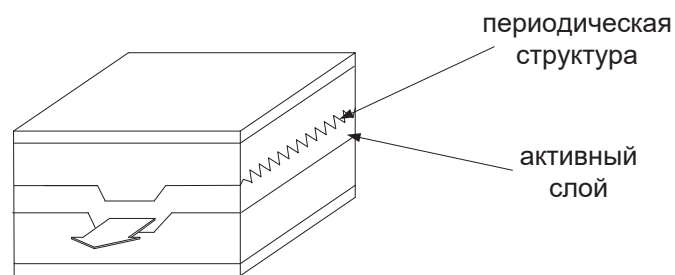


Рис. 2.4. Структура DFB лазера.

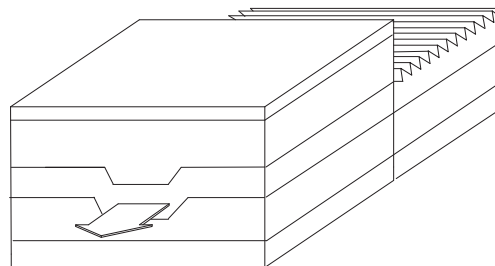
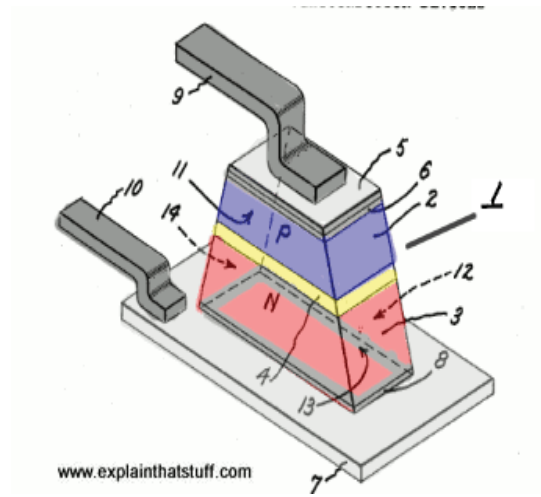
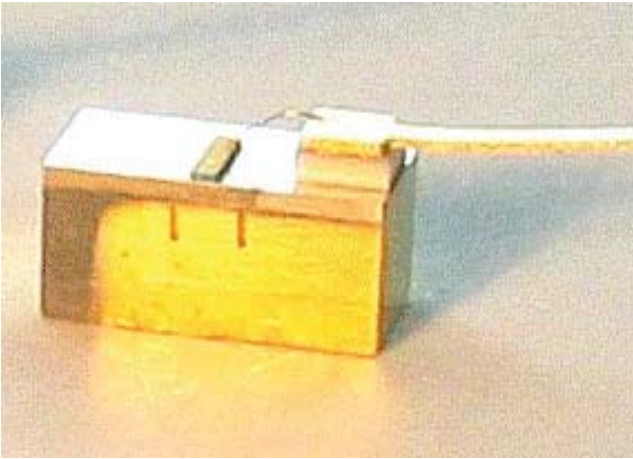


Рис. 2.5. Структура DBR лазера.



Основная литература:

1. Орликов, Л. Н. Технология приборов оптической электроники и фотоники [Электронный ресурс] : учебное пособие / Орликов Л. Н. - Томск : Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, 2012. - 87 с. - ISBN 2227-8397 : Б. ц. Книга находится в Премиум-версии ЭБС IPRbooks.
2. Астахов, А. В. Оптическое материаловедение [Электронный ресурс] : учебное пособие / А. В. Астахов, Е. В. Полякова, В. Е. Стригалеv ; рец.: Н. Л. Урванцева, И. В. Гришин ; Федеральное агентство связи, Федеральное государственное образовательное бюджетное учреждение высшего профессионального образования "Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича". - СПб. : СПбГУТ, 2014. - 96 с. : ил. - Б. ц.
3. Астахов, Александр Владимирович. Оптическое материаловедение [Текст] : учебное пособие / А. В. Астахов, Е. В. Полякова, В. Е. Стригалеv ; рец.: Н. Л. Урванцева, И. В. Гришин ; Федеральное агентство связи, Федеральное государственное образовательное бюджетное учреждение высшего профессионального образования "Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича". - СПб. : СПбГУТ, 2014. - 97 с. : ил. - 446.98 р.
4. Астахов, Александр Владимирович. Материалы и элементная база фотоники и оптических устройств связи [Текст] : учебное пособие / А. В. Астахов, Е. В. Полякова, В. Е. Стригалеv ; рец.: А. К. Канаев, И. В. Гришин ; Федеральное агентство связи, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича". - СПб. : СПбГУТ, 2017. - 78 с. : ил. - 429.87 р.

Дополнительная литература:

1. Панов, М. Ф. Физические основы интегральной оптики [Текст] : учебное пособие / М. Ф. Панов, А. В. Соломонов, Ю. В. Филатов ; рец.: С. Ю. Давыдов, А. Д. Яськов. - М. : Академия, 2010. - 432 с. - Библиогр. : с. 422-423. - ISBN 978-5-7695-59 76-1 :

564.74 р., 529.21 р.

2. Игнатов, А. Н. Оптоэлектроника и нанофотоника [Текст] : учебное пособие / А. Н. Игнатов. - СПб. : Лань, 2011. - 538 с. : ил. - ISBN 978-5-8114-1136-8 : 856.02 р.

3. Игнатов, Александр Николаевич. Оптоэлектроника и нанофотоника [Электронный ресурс] : учеб. пособие / А. Н. Игнатов. - Москва : Лань, 2011. - 538 с. : ил. ; 22. - ISBN 978-5-8114-1136-8 : 799.92 р. Рекомендовано Сибирским региональным отделением учебно-методического объединения высших учебных заведений РФ по образованию в области радиотехники, электроники, биомедицинской техники и автоматизации для межвузовского использования в качестве учебного пособия для студентов, обучающихся по направлению подготовки «Электроника и наноэлектроника» и «Телекоммуникации». Библиогр.: с. 526-530 (90 назв.)

4. Хансперджер, Роберт. Интегральная оптика : Теория и технология [Текст] : пер. с англ. / Р. Хансперджер ; пер.: В. Ш. Берикашвили, А. Б. Мещеряков ; ред. В. А. Сычугов. - М. : Мир, 1985. - 379 с. : ил. - 2.40 р.