

МИНИСТЕРСТВО ОБЩЕГО И ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

НОВОСИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Физический факультет

Кафедра общей физики

ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

**Часть 5. Радиооптика**

Новосибирск, 1986

## Лабораторная работа 6.4

### ПОЛЯРИЗАЦИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ВОЛНЫ. ПОЛНОЕ ВНУТРЕННЕЕ ОТРАЖЕНИЕ

#### Цель работы.

1. Изучение свойств линейной решетки из проводников как поляризатора электромагнитной волны.
2. Преобразование плоскополяризованной электромагнитной волны в эллиптически поляризованную при полном внутреннем отражении.

1. Для получения поляризованной электромагнитной волны, а также для анализа состояния поляризации необходим: поляроид - устройство, которое пропускает электромагнитную волну только одной поляризации. В оптическом диапазоне в качестве поляроидов используют кристаллы и пленки. Последние сейчас применяются наиболее широко и изготавливаются в виде полимерных пленок (например, поливиниловый спирт с йодом). Молекулы в этих пленках представляют собой длинные цепочки, выстроенные параллельно друг другу в результате специальной обработки (механическое натяжение). Такие пленки обладают особым свойством: они практически полностью пропускают свет, в котором вектор  $\vec{E}$  перпендикулярен оси молекул, и поглощают 99 % интенсивности света, поляризованного вдоль оси молекул. В СВЧ диапазоне в качестве поляроида можно использовать решетку из линейных проводников.

Пусть плоская электромагнитная волна с длиной волны  $\lambda$  падает по нормали на плоскую решетку из линейных проводников с периодом  $h \ll \lambda$  (рис. 1). В случае, когда направление электрического поля в волне совпадает с направлением проводников, электромагнитная волна возбуждает в них токи, направленные вдоль проводников. При  $h \ll \lambda$  такая решетка в первом приближении не отличается от проводящей плоскости и волна отражается от нее практически полностью. В этом случае интенсивность прошедшей волны есть (см. Приложение 1)

$$J_1 \approx J_0 \frac{2h}{\lambda} \ln \frac{h}{a} \ll J_0, \quad \omega \ll h \ll \lambda \quad (1)$$

где  $J_0$  - интенсивность падающей волны,  $a$  - поперечный размер проводника. Из этого выражения видно, что с уменьшением  $h$  интенсивность прошедшей волны быстро уменьшается.

В случае, когда направление электрического поля перпендикулярно направлению проводников, электрическое поле не может вызвать тока вдоль проводников, а приводит только к поперечной поляризации проводников. Однако при  $\omega \ll h \ll \lambda$  токи поляризации достаточно малы и волна проходит сквозь решетку практически без ослабления.

Таким образом, при падении на решетку волны с произвольной поляризацией как отраженная, так и прошедшая волны будут линейно поляризованными. Направление электрического поля в первой из них параллельно проводникам, а в последней - перпендикулярно.

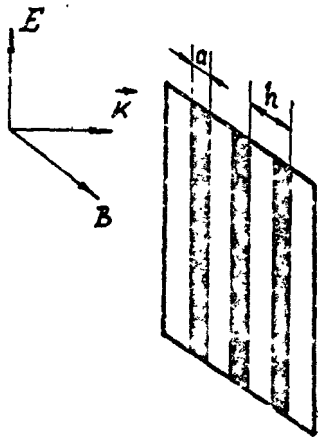


Рис. 1. Решетка из линейных проводников

2. Рассмотрим, как изменяется поляризация электромагнитной волны при полном внутреннем отражении на границе двух сред (см. Приложение 2). Нетрудно видеть, что при отражении плоскополяризованной волны, электрическое поле которой лежит в плоскости падения (ТМ - волна [4]) или перпендикулярно плоскости падения (ТЕ - волна), характер поляризации волны не изменяется, волна остается плоскополяризованной, а электрическое поле лежит в той же плоскости, что и поле падавшей волны. В общем случае волну можно представить в виде суммы ТМ - и ТЕ - волн. Поскольку при "обычном" отражении сдвиг фазы обоих типов волн равен  $\pi$ , отраженная волна остается плоскополяризованной. Однако при полном внутреннем отражении ТМ - и ТЕ - волны приобретают дополнительные сдвиги фаз, величины которых зависят от угла падения и типа волны. Это приводит к тому, что при отражении между ТЕ - и ТМ - волнами возникает сдвиг фаз, и следовательно, плоскополяризованная волна после полного внутреннего отражения становится, вообще говоря, эллиптически поляризованной. В частном случае, когда амплитуды ТЕ - и ТМ - волн равны и относительный сдвиг фаз равен  $\pi/2$ , волна после полного внутреннего отражения приобретает круговую поляризацию.

При измерении интенсивности волн СВЧ диодом его показания пропорциональны квадрату составляющей электрического поля, направленной вдоль оси диода. Поэтому, если вращать диод так, чтобы его ось оставалась в плоскости, перпендикулярной направлению распространения волны, выходной сигнал будет пропорционален квадрату составляющей электрического поля в данном направлении. Состояние поляризации можно характеризовать параметром  $P$  - отношением квадратов минимального и максимального значений напряженности поля, т.е.  $P = E_{min}^2 / E_{max}^2$ .  $P = 0$  для плоскополяризованной волны,  $P = 1$  для волны с круговой поляризацией,  $0 < P < 1$  для эллиптически поляризованной волны. Параметр  $P$  равен отношению квадратов малой и большой осей эллипса поляризации (см. Приложение 2).

При полном внутреннем отражении плоскополяризованной волны максимальное значение  $P$  в отраженной волне (при заданном угле падения  $\varphi$  и показателе преломления  $n$ ) достигается, если плоскость поляризации волны направлена под углом  $45^\circ$  к плоскости падения. В этом случае (см. Приложение 2, рис. 2)

$$P = \frac{\cos^2 \varphi (n^2 \sin^2 \varphi - 1)}{n^2 \sin^4 \varphi} \quad (2)$$

Если  $\varphi = \pi/4$ , то выражение (2) можно упростить:

$$P = 1 - \frac{2}{n^2}. \quad (3)$$

Для большинства диэлектриков  $n < 2$ , следовательно,  $P < 1/2$ ; чтобы увеличить  $P$ , можно применить два последовательных полных внутренних отражения (см. рис. 4).

Если при каждом отражении  $\varphi = \pi/4$ , то

$$P = n^2(n^2 - 2). \quad (4)$$

### Задание 1.

Линейная решетка как поляризатор и анализатор состояния поляризации электромагнитной волны. Для выполнения задания соберите схему, изображенную на рис. 2.

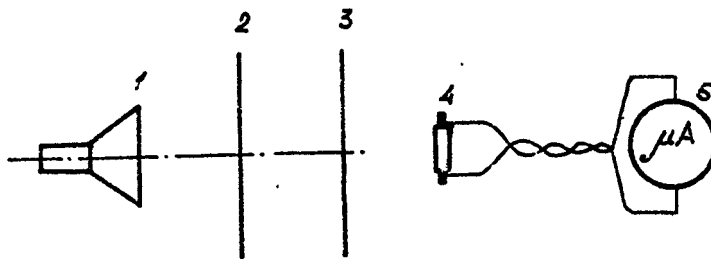


Рис. 2. Схема для изучения состояния поляризации электромагнитной волны: 1 - источник СВЧ излучения; 2 - поляризатор; 3 - анализатор; 4 - СВЧ диод; 5 - микроамперметр.

1. Уберите поляризатор и анализатор. Снимите зависимость выходного сигнала от угла поворота СВЧ диода. Выясните, как согласуются полученные результаты с предположением, что СВЧ диод является квадратичным детектором. Проведите измерения для различных интенсивностей падающей волны. Убедитесь, что рупор излучает плоскополяризованную волну.

2. Установите поляризатор и анализатор перпендикулярно плоскости поляризации волны, при этом электромагнитная волна должна проходить, сквозь них без ослабления. Снимите зависимость выходного сигнала от угла поворота анализатора. При каждом измерении настраивайте угол поворота СВЧ диода на максимум выходного сигнала. Произведите измерения с решетками, имеющим различный шаг.

3. Измерьте зависимость коэффициента отражения поляризатора от ее шага  $h$  и сравните с выражением (1).

**Контрольный вопрос.** Можно ли при помощи описанной системы анализатор - диод отличить эллиптически поляризованную волну от неполяризованной и плоскополяризованной волны?

### Задание 2.

Поляризация электромагнитной волны при полном внутреннем отражении. Для выполнения задания соберите схему по рис. 3.

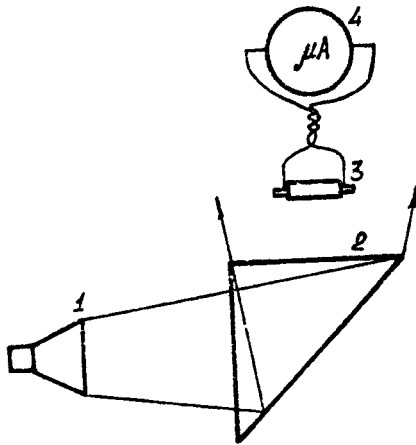


Рис. 3. Схема для изучения состояния поляризации электромагнитной волны при полном внутреннем отражении: 1 - источник СВЧ излучения; 2 -призма; 3 - СВЧ диод; 4 -микроамперметр.

1. Установите призму таким образом, чтобы полное внутреннее отражение происходило при угле падения равном  $45^\circ$ . Определите отношение квадратов полуосей эллипса поляризации для волны, выходящей из призмы, в зависимости от угла  $\alpha$  между электрическим полем в падающей волне и плоскостью падения. Постройте график зависимости  $P$  от  $\alpha$ . При  $\alpha = 45^\circ$  постройте эллипс поляризации.

2. Рассчитайте показатель преломления призмы при помощи выражения (3).

### Контрольные вопросы

1. Как влияет многократное отражение от входной и выходной грани призмы на результаты измерения?

2. Объясните наклон построенного Вами эллипса поляризации.

### Задание 3.

Преобразование плоскополяризованной волны в волну с круговой поляризацией. Для выполнения этого задания соберите схему, изображенную на рис. 4.

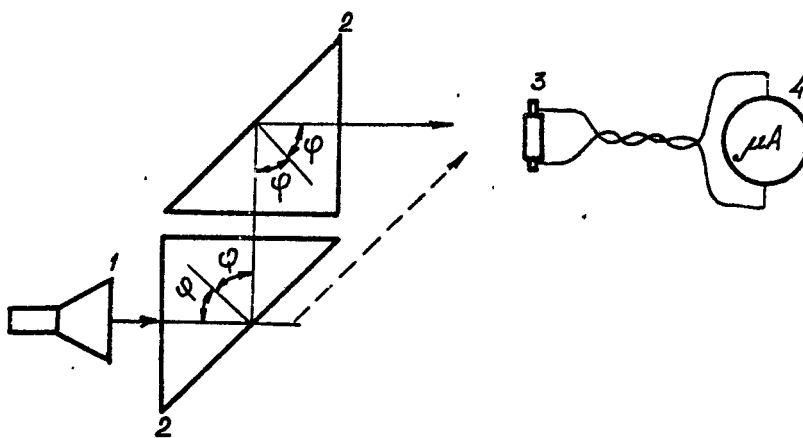


Рис. 4. Схема для изучения состояния поляризации электромагнитной волны, дважды испытавшей полное внутреннее отражение: 1 - источник СВЧ излучения; 2 -

призмы; 3 - СВЧ диод; 4 -микроамперметр.

1. Расположите призмы таким образом, чтобы снести к минимуму эффекты многократного отражения от граней призмы и влияние на результат измерений туннелированной волны, выходящей за грань призмы, от которой происходит полное внутреннее отражение. Эта волна распространяется вдоль грани, как показано на рис. 4 пунктиром.

2. Определите отношение квадратов полуосей эллипса поляризации при двукратном полном внутреннем отражении под углом  $45^\circ$ . Считая показатель преломления известным из задания 2, сравните полученное значение с рассчитанным при помощи выражения (4).

3. Расположите призмы таким образом, чтобы на выходе была волна с круговой поляризацией. С учетом преломления на входной грани призмы рассчитаете угол, под которым происходит полное внутреннее отражение. Полученный результат сравните с теоретическим предсказанием (см. Приложение 2).

**Контрольный вопрос.** Как получить правополяризованную и левополяризованную волны?

Интернет версия подготовлена на основе издания: Описание лабораторных работ. Часть 5. Радиооптика. Новосибирск: Изд-во, НГУ, 1986

© Физический факультет НГУ, 1999

© Лаборатория оптики НГУ, 1999, <http://www.phys.nsu.ru/optics/>