

Министерство образования Российской Федерации
ИРКУТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДЛИНЫ ВОЛНЫ
ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ И
РАЗМЕРОВ МАЛЫХ ПРЕПЯТСТВИЙ**

Методические указания

Иркутск 2004

Печатается по решению
научно- методического совета
Иркутского государственного университета

Кратко рассматриваются вопросы интерференции, дифракции и поляризации света.

Студентам предлагается экспериментально изучить эти явления и определить длину волны лазерного излучения.

Предназначена для студентов 1 и 2 курсов
естественных факультетов

Составитель: к.ф.-м.н., доц. Л.И.Алексеева
Рецензент: к.ф.-м.н., проф. Л.А.Скоробогатова

Определение длины волны лазерного излучения и размеров малых предметов

Внимание! Попадание в глаза лазерного излучения опасно для зрения. Поэтому при работе с лазером необходимо соблюдать меры предосторожности и наблюдения производить исключительно после отражения светового луча на экране с рассеивающей поверхностью.

Цель работы:

1. Познакомиться с явлением дифракции и интерференции света.
2. Познакомиться с работой полупроводникового лазерного диода непрерывного действия и определить длину волны лазерного излучения.
3. Определить размеры металлической сетки.

Приборы и принадлежности:

Лазер, дифракционная решетка, металлическая сетка, поляризатор, рулетка, линейка, экран.

Краткая теория

Естественные и искусственные макроскопические источники света, такие как лампы накаливания, газоразрядные лампы, Солнце и т.д., представляют собой

совокупность множества атомных излучателей, которые испускают кванты света независимые друг от друга. Пространственная ориентация электромагнитных векторов \vec{E} и \vec{B} этих квантов и моменты актов испускания отдельными частицами распределены хаотически. Поэтому световая волна, излучаемая таким источником, характеризуется быстро изменяющимися колебаниями векторов \vec{E} и \vec{B} (рис.1) плоскости которых с равной вероятностью ориентированы во всевозможных направлениях, перпендикулярных направлению распространения светового луча. Такой свет называется естественным (неполяризованным) и может быть изображен совокупностью векторов \vec{E} , расположенных хаотично в сечении, перпендикулярном распространению луча (рис.2а). Свет, в котором колебания вектора \vec{E} каким-либо образом упорядочены и колеблются в определенной плоскости, называется линейно или плоско-поляризованным (рис.1 и 2б, 2в).

Рис.1

Рис.2а

Рис.2б, в

По современным представлениям свет – это сложный электромагнитный процесс переменный во времени и в пространстве, обладающий одновременно как волновыми, так и квантовыми свойствами. В явлениях дифракции и интерференции проявляются волновые свойства света. Явление дифракции состоит в том, что при прохождении через узкие отверстия, соизмеримые с длиной волны, или около краев непрозрачных экранов, свет испытывает отклонение от прямолинейного распространения и заходит в область геометрической тени. Явление интерференции состоит в том, что при наложении когерентных световых волн происходит перераспределение светового потока в пространстве, в результате чего в определенных местах на экране возникают максимумы интенсивности, разделенные минимумами. Явление дифракции и интерференции хорошо наблюдается при прохождении белого света через дифракционную решетку с образованием ярких спектров. При пропускании лазерного излучения через дифракционную решетку можно наблюдать монохроматические максимумы интенсивности.

Лазерами называются приборы, которые позволяют получить усиление световой энергии с помощью вынужденного излучения. То есть, в этих приборах создаются такие условия, при которых можно заставить одновременно большое количество электронов перейти с более высокого (возбужденного) уровня на нижний

(основной) с излучением квантов (вынужденное излучение).

Работа простейшего полупроводникового лазерного диода *n*- и *p*- типа. Полупроводники *p*- типа получают при добавлении в основное вещество, например, германий или кремний, примеси меньшей валентности индий; *n*- типа – большей валентности мышьяк. Причем концентрация примесей должна быть настолько велика, чтобы соответствующие уровни расщеплялись, перекрывались и тем самым могла создаваться инверсия населённости. Это означает, что при соответствующих условиях (например, при наложении внешнего напряжения) значительная часть электронов оказывается в возбужденном состоянии, затем они могут прорекомбинировать с дыркой с излучением кванта энергии.

Дифракционная решетка изготавливается на заводе путем нанесения определенного числа штрихов на 1 мм, например, $N = \frac{1}{d} = 100 \text{ мм}^{-1}$, указывается на самой решетке, *d* – параметр дифракционной решетки.

Дифракционная решетка позволяет разложить лазерный луч на большое число когерентных лучей, расходящихся под произвольными углами. Параллельные лучи интерферируют в бесконечности, образуя *max* и *min* на достаточно удаленном (по сравнению с параметром дифракционной решетки) экране. В тех направлениях,

для которых в разность хода параллельных лучей укладывается четное число полуволн, наблюдаются максимумы: (рис.3).

Рис.3

$$\Delta = d \sin \varphi = 2k \frac{\lambda}{2} = k\lambda, \quad (1)$$

здесь $k = 0; \pm 1; \pm 2$ и т.д. – порядок интерференционных макс. Если углы дифракции φ , под которыми наблюдаются максимумы 1-ого, 2-ого и т.д. порядков не превышают 5° , можно принять, что

$$\sin \varphi \approx \operatorname{tg} \varphi = \frac{l}{L}, \quad (2)$$

тогда окончательная формула для определения длины волны лазерного излучения принимает вид

$$\lambda = \frac{dl}{kL} = \frac{l}{kNL}, \quad (3)$$

Размеры D малых отверстий или препятствий при дифракции электромагнитного лазерного излучения известной длины волны λ можно определить по формуле:

$$D = \frac{k\lambda L}{l}, \quad (4)$$

Порядок выполнения работы:

1 часть. Определение длины волны лазерного излучения.

1. Установить лазер на расстоянии $L \div 1-3$ м. Величину L измерить рулеткой.
2. На экране получить изображение нескольких дифракционных max . Измерить линейкой расстояние между максимумами ± 1 -го порядка $2l_1$ и ± 2 -го порядка $2l_2$.
3. Сделать не менее 6 измерений для трех различных значений L . Результаты измерений занести в табл. 1.
4. Вычислить λ_i каждого измерения, $\lambda_{\text{ср}}$ и средне квадратичную погрешность многократных измерений длины волны лазера.

Таблица 1

N_0 n/n	L , мм	K	l , мм	N , мм^{-1}	λ_i , мм	$\lambda_{\text{ср}}$, нм	$\Delta\lambda_i = \lambda_{\text{ср}} - \lambda_i$	$\Delta\lambda_i^2$	$\Delta\lambda_{\text{ср}}$, нм

2 часть. Определение размеров металлической сетки.

1. В держателе на пути лазерного луча установить металлическую сетку. На экране получить изображение

пространственной дифракционной картины для некоторого расстояния L от предмета.

2. Измерить расстояние L от предмета до экрана, а также между максимумами $2l_1, 2l_2$ и т.д. по вертикали и горизонтали.

3. Составить таблицу 2 и занести в нее результаты измерений. По формуле (4) вычислить размер ячейки металлической сетки (сито) D и его среднее значение, а также N - число отверстий на 1мм.

4. Вычислить наименьшую приборную погрешность однократного измерения D .

Таблица 2

$L, \text{ мм}$	K	$l_{гор}, \text{ мм}$	$l_{верт}, \text{ мм}$	$D_{гор}$	$D_{верт}$

3 часть. Изучение поляризации лазерного луча.

Луч лазера поляризован. В этом можно убедиться с помощью поляризатора, пропускающего колебания только определенного направления. Поляризатор представляет собой пластинку, вырезанную из анизотропного кристалла таким образом, что оптическая ось $O_1^* O_1^*$ располагается в плоскости пластинки (рис.4).

При прохождении света через такую пластинку остаются колебания вектора \vec{E} , параллельные оптической оси $O_1^* O_1^*$ поляризатора. Исследование поляризации лазерного луча проводят следующим образом:

Рис.4

1. На пути лазерного луча (L) после металлической сетки (C) установить поляризатор (Π) (рис.4).

2. Поворачивая поляризатор вокруг оптической оси $O_1^* O_1^*$, можно убедиться, что при некотором положении оси $O_1^* O_1^*$ поляризатора интерференционная картина на экране имеет максимальную освещенность. При повороте оси поляризатора на 90^0 освещенность экрана почти полностью исчезает. Это означает, что лазерный луч поляризован, т.е. плоскость колебаний вектора E напряженности электрической составляющей электромагнитной волны совпадает с осью $O_1^* O_1^*$, а в плоскости, перпендикулярной этой оси колебания вектора E отсутствуют.

Контрольные вопросы

1. Какие лучи называются когерентными?
2. Что собой представляет свет?
3. Изобразите на чертеже и запишите уравнение электромагнитной волны.
4. В чем суть явления дифракции и интерференции?
5. Какой свет называется естественным и поляризованным?
6. Как возникает излучение лазера? Охарактеризуйте его.

Литература

1. Трофимова Т.И. Курс физики: Учебное пособие для вузов. – М.: Высш.шк. 2002. – 542 с.