

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 6.1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОСТОЯННОЙ ПЛАНКА

Цель работы: определение постоянной Планка на основе измерения напряжения включения полупроводникового лазера и длины волны излучаемого им света.

Приборы и принадлежности: платформа с лазером и схемой питания, линейка с магнитами, дифракционная решетка, метр демонстрационный, цифровой вольтметр демонстрационный.

КРАТКАЯ ТЕОРИЯ

Как известно, разрешенные значения энергии электронов в атоме отделены друг от друга широкими областями запрещенных энергий. При объединении атомов в твердое тело энергетические состояния электронов изолированных атомов изменяются. Вместо разрешенных энергетических уровней возникают энергетические полосы, или зоны разрешенных значений энергии, которые по-прежнему остаются отделенными друг от друга областями, соответствующими запрещенным значениям энергии. В наибольшей степени это касается внешних, валентных электронов, которые слабее связаны со своими ядрами.

Подобно тому, как в изолированном атоме электроны могут совершать переходы между энергетическими уровнями, электроны в кристаллах могут переходить из одной зоны в другую. В примесных полупроводниках, как электронных, так и дырочных, такой переход осуществляется под воздействием электрического поля источника тока. Обратный процесс перехода электрона может сопровождаться излучением кванта света.

Излучение света при переходе электрона из состояния с более высокой энергией в состояние с меньшей энергией лежит в основе работы светодиодов и полупроводниковых лазеров.

Для того чтобы электрон мог совершить переход в разрешенное состояние с более высокой энергией, он должен приобрести в электрическом поле энергию, равную ширине запрещенной зоны. Энергия, приобретаемая электроном в электрическом поле, составляет $e \cdot U$. Энергия фотона $h \cdot \nu$, излучаемого при обратном переходе электрона в нижнее энергетическое состояние также приблизительно равна ширине запрещенной зоны. Таким образом, можно записать, что $h \cdot \nu = e \cdot U$, где h - постоянная Планка, ν - частота света, излучаемого полупроводниковым переходом, e - заряд электрона, U - напряжение, приложенное к $p-n$ -переходу.

Таким образом, для определения постоянной Планка необходимо измерить длину волны излучаемого полупроводниковым прибором света и

измерить напряжение, при котором $p-n$ -переход начинает излучать световые кванты.

В предлагаемом эксперименте длина волны излучения определяется с помощью дифракционной решетки с известным числом штрихов (150 штр./мм , точное значение периода указано на оправке дифракционной решетки). Если падающий луч перпендикулярен поверхности решетки (угол падения равен нулю), то длина волны излучения λ , период решетки d , угол φ и порядок k дифракции связаны соотношением: $d \sin \varphi = k\lambda$.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЕ РАБОТЫ

1. Электрическая схема экспериментальной установки представлена на рис. 1. Все элементы этой цепи за исключением вольтметра смонтированы на платформе. Напряжение на полупроводниковом лазере регулируется с помощью переменного резистора. Для измерения напряжения используется мультиметр, который подключается к имеющимся на платформе клеммам.

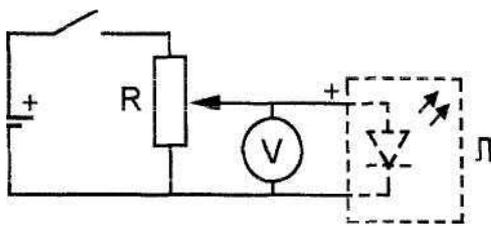


Рис. 1

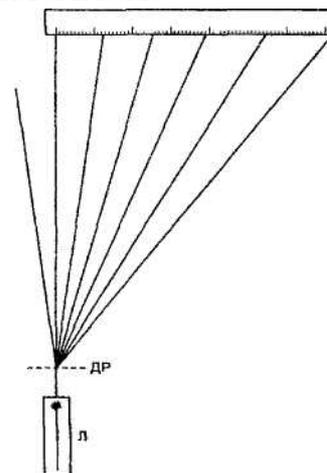


Рис. 2

2. Соберите оптическую схему экспериментальной установки, представленную на рис. 2. Платформа с полупроводниковым лазером устанавливается в левом нижнем углу доски. Включите лазер и установите напряжение питания 3 В . Направьте луч лазера вертикально вверх параллельно боковому краю доски. Линейка для измерения угла дифракции закрепляется с помощью имеющихся на ней магнитов в верхнем углу доски и ориентируется параллельно верхней кромке доски (такое расположение обеспечивает перпендикулярность линейки направлению распространения луча лазера). Начало шкалы линейки совмещается с точкой пересечения луча с линейкой.

3. Установите дифракционную решетку на второй магнитный держатель, имеющийся на платформе. Решетка поворачивается таким образом, чтобы плоскость дифракции была параллельна плоскости доски. При этом дифракционные максимумы должны попасть на линейку.

4. Определите угол между нулевым и первым, нулевым и вторым и т.д. порядком дифракции. В соответствии со схемой, приведенной на рис. 2, тангенс этого угла вычисляется по формуле $tg\varphi = a/b$, где a - расстояние от нулевого порядка дифракции до выбранного порядка дифракции (измеряется по линейке, установленной в верхней части доски), а b - расстояние от дифракционной решетки до пятна, создаваемого на линейке лучом лазера в нулевом порядке дифракции (измеряется с помощью обычной линейки или демонстрационного метра).

5. Вычислите длину волны λ и частоту ν излучения лазера ($\lambda = d \sin \varphi / k$, $\nu = c / \lambda$, c - скорость света). Т.к. при достаточно малых углах $\sin \varphi \sim tg\varphi$, следовательно $\sin \varphi = a/b$, следовательно

$$\lambda = \frac{ad}{bk}.$$

Таблица 1.

№ п/п	k	$d, \text{ м}^{-1}$	$a, \text{ м}$	$b, \text{ м}$	$\lambda, \text{ м}$	$\bar{\lambda}, \text{ м}$	$c, \text{ м/с}$	$\nu, \text{ Гц}$
1								
2								
3								

6. Уберите дифракционную решетку из оптической схемы и обратите внимание на яркость красного пятна вблизи нулевого деления шкалы линейки и на значение напряжения, которое показывает цифровой измерительный прибор. Вращая ручку потенциометра, плавно уменьшайте напряжение питания до тех пор, пока пятно на экране станет едва заметным. Показание вольтметра в этот момент можно считать равным пороговому напряжению включения лазера.

7. Определите значение постоянной Планка на основе соотношения $h \cdot \nu = e \cdot U$:

$$h = e \cdot U / \nu$$

8. Вычислите погрешности произведенных измерений и вычислений.

Таблица 2.

№ п/п	$\nu, \text{ Гц}$	$U, \text{ В}$	$\bar{U}, \text{ В}$	$e, \text{ Кл}$	$h, \text{ Дж} \cdot \text{ с}$
1					
2					
3					

Контрольные вопросы

1. Принцип Гюйгенса-Френеля.
2. Какие волны называются когерентными?
3. В чем заключается явление дифракции?
4. Какова интенсивность в центре дифракционной картины от круглого экрана, если он закрывает всю первую зону? Интенсивность при отсутствии экрана равна 0.
5. Какова будет интенсивность, в случае одной щели, в тех местах экрана, для которых угол удовлетворяет условию: $2k \frac{\lambda}{2a} < \sin \varphi < (2k + 1) \frac{\lambda}{2a}$?
6. Каков порядок следования цветов в дифракционных спектрах? Какова окраска нулевого максимума?
7. Чем отличаются дифракционные спектры, даваемые решетками с одинаковым количеством щелей, но с различными постоянными, и решетками с одинаковыми постоянными, но с различным количеством щелей?
8. Как изменится действие дифракционной решетки, если ее поместить в воду?
9. Сформулируйте постулаты Бора.
10. В чем заключается принцип корпускулярно-волнового дуализма.