

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ШИРИНЫ ЗАПРЕЩЕННОЙ ЗОНЫ

Ширина запрещенной зоны  $\Delta E$  является одной из основных характеристик полупроводника. Для ее определения используются многие методы. В нашей работе предлагается определить  $\Delta E$  кристалла CdS двумя способами: по спектральным кривым поглощения и по спектральным кривым фотопроводимости.

### **1.Определение границы поглощения.**

Только в идеальном кристалле, совершенно лишенном примесей и дефектов решетки, граница поглощения имеет определенное значение, т.е. начиная с некоторой длины волны, кристалл перестает поглощать свет. Реальные кристаллы всегда содержат некоторое количество примесных атомов и дефектов решетки. Это приводит к тому, что кристалл обладает некоторым поглощением вне полосы характеристического поглощения (рис.7), коэффициент  $k$  никогда

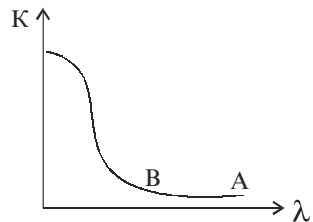


Рис.7.

не обращается в ноль. В области пропускания кристалла (участок АВ на рис. 7)  $k$  имеет, хотя и малое, но отличное от нуля значение. При таких условиях положение границы поглощения становится неопределенным.

Условно принято считать началом характеристического поглощения ту длину

волны, при которой  $k=100\text{ см}^{-1}$ . В нашей работе мы не можем воспользоваться этим определением, т.к. для вычисления величины  $k$  из формулы  $I=I_0e^{-kd}$  необходимо, кроме толщины кристалла  $d$ , знать  $I_0$  - интенсивность света, входящего в кристалл. Она равна интенсивности света, падающего на кристалл, минус интенсивность отраженного света. Измерение интенсивности отраженного света в зависимости от длины волны представляет собой не простую задачу и в нашей работе не проводится. Мы определяем ослабление света, т.е. величину  $\frac{I-I_0}{I_0}$ , где  $I$  интенсивность света, прошедшего через кристалл,  $I_0$  - интенсивность падающего на кристалл света.

Измерив величину  $\frac{I-I_0}{I_0}$  для различных длин волн и построив график ее зависимости от  $\lambda$ , мы получим кривую, подобную кривой, изображенной на рис. 8.

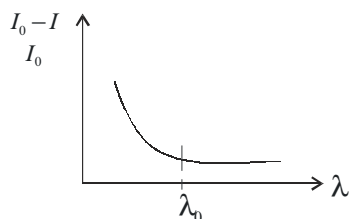


Рис. 8.

За начало полосы характеристического поглощения примем  $\lambda_0$ , т.е. длину волны, при которой поглощение начинает возрастать. Следует отметить, что изображенный на рис. 7 участок СД кривой  $k(\lambda)$  в нашей работе не получается. Этот участок соответствует очень сильному поглощению и для измерений в этой области следует брать кристаллы толщиной в десятые доли микрона, тогда как употребляемый в нашей работе кристалл имеет толщину в несколько десятков микрон.

## 2. Определение границы проводимости.

Как упоминалось выше (стр. 4) спектральные кривые фотопроводимости имеют со стороны больших длин волн резкий подъем, обусловленный началом характеристического поглощения. Так как в этом случае положение граничной длины волны несколько неопределенно, то в практике применяется условная величина: на кривой  $\Delta\sigma(\lambda)$  берется значение ординаты на спаде в области длинных волн, равное половине высоты максимума, и соответствующая ей длина волны принимается за граничную ( $\lambda_0$  на рис.9).

Для снятия спектральной кривой фотопроводимости необходимо для каждой длины волны значение фототока отнести к величине падающего светового потока. В качестве источника света в нашей работе применяется лампа

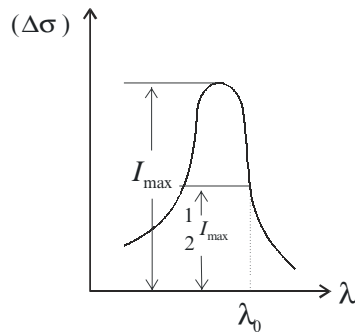


Рис. 9.

накаливания с вольфрамовой нитью. Спектральный состав такого света характеризуется участком кривой излучения Планка (см. работу “Фотоэлемент” и “Фотоэлектронный умножитель”). В данной работе эта кривая не снимается, что исключает возможность рассчитать фототок на единицу падающего потока. Поэтому полученные нами кривые  $\sigma(\lambda)$  не являются в строгом смысле спектральными кривыми фотопроводимости. Но, так как спектральная кривая падающего света в измеряемой области длин волн имеет плавный ход, то практически положение максимума на наших кривых остается тем же, что и на истинных кривых фотопроводимости. Это дает нам возможность определить  $\Delta E$  с хорошей точностью. Значения  $\Delta E$ , определенными двумя приведенными выше методами, при аккуратных измерениях не должны отличаться друг от друга больше, чем на 0,05 eV.

**Литература:**

Мотт Н. И Генри: “Электронные процессы в ионных кристаллах”

Иоффе А.Ф.: “Физика полупроводников”

Денлэп У.: “Внедрение в физику полупроводников”.

**Экспериментальная часть**

Задачей настоящей работы является определение ширины запрещенной зоны  $\Delta E$  кристалла CdS по границе поглощения из кривой фотопроводимости.

В качестве спектрального прибора используется стеклянный монохроматор МС-2, оптическая схема которого приведена на рис. 10.

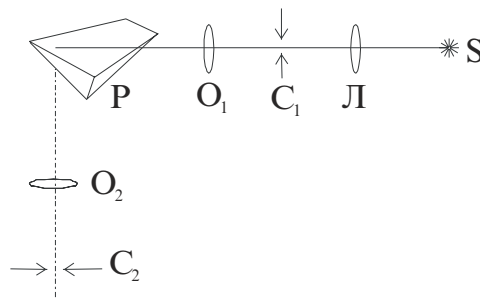


Рис. 10.

Здесь  $S$  – источник света,  $L$  – осветительная линза,  $C_1$  и  $C_2$  - входная и выходная щели,  $O_1$  и  $O_2$  - объективы,  $P$  – призма постоянного отклонения Аббе,

поворотный механизм которой соединен с измерительным барабаном.

Призма постоянного отклонения (призма Аббе) устроена так, что луч, идущий в условиях наименьшего отклонения, выходит из призмы всегда перпендикулярно входящему лучу. Устройство этой призмы легко понять из рис. 11.

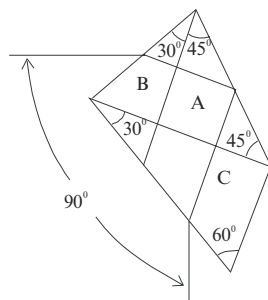


Рис. 11.

На рис.11 призма Аббе условно разделена на три призмы, из которых средняя А является призмой полного внутреннего отражения, поворачивающей луч на  $90^\circ$ , В и С – тридцатиградусные призмы.

Объектив коллиматора  $O_1$  установлен жестко, объектив  $O_2$  может перемещаться с помощью маховичка, снабженного отсчетным устройством. Патрубки щелей  $C_1$  и  $C_2$  также сделаны подвижными; их положения фиксируются по соответствующим шкалам.

Работу следует начинать с градуировки монохроматора.

Градуировка монохроматора производится с помощью линейчатого источника света, имеющего достаточное число линий в требуемой области спектра. (Иногда использует несколько источников, чтобы иметь больше точек для построения градуировочной кривой). Результаты градуировки обычно изображают в виде кривой  $\lambda = \lambda(\varphi)$ , где  $\varphi$  - отсчет по измерительному барабану, или в виде номограммы.

Градуировку надо начинать с установки линейчатого источника на оси прибора. Эта установка должна быть выполнена с достаточной тщательностью и должна обеспечивать заполнение светом рабочей аппаратуры прибора для каждой спектральной линии данного интервала, иначе бледные линии могут быть не обнаружены в спектре.

Ширина щелей определяется двумя условиями: с одной стороны щели должны быть возможно более узкими, чтобы спектральные линии разрешились более отчетливо, с другой стороны она не должна быть настолько малой, чтобы понизилась интенсивность линий из-за дифракции света на призмах и объективах прибора, т.е. ширина щелей должна быть больше “нормальной”.

При градуировки приходится иметь дело с двумя задачами: во-первых, найти правильное положение линий по шкале прибора и, во-вторых, точно установить

с какой линией имеешь дело.

Последняя задача сильно облегчается, если есть фотографии соответствующих спектров, снятые на приборе с похожей дисперсией. Если же этого нет, то надо сначала взять источник со спектром, бедным линиями, определить которые не составляет труда, и попытаться разобраться в спектре с помощью графика.

Нахождение правильного положения линии по шкале монохроматора сводится к точному совмещению середины линии с осью выходной щели. Казалось бы, что совмещение линии с выходной щелью будет тем точнее, чем уже щель. Однако, это не так. Спектральная линия всегда несколько размыта из-за наличия aberrации и дифракции, и, если ширина щели равна или меньше величины aberrации, то яркость линии будет очень мала и неравномерна. При визуальном измерении точно совместить изображение линии с выходной щелью весьма нелегко. Линия может оказаться или правее или левее своего истинного положения. Лучше наблюдать появление линии около одного края щели и исчезновение ее около другого. Допустим, что появление линии происходит при делении шкалы  $n_1$ , а исчезновение – при  $n_2$ , тогда правильное положение

ее будет соответствовать делению:

$$n = \frac{n_1 + n_2}{2}$$

При градуировке наблюдение за линией производится при помощи лупы, предварительно сфокусированной на выходную щель. Установив такую фокусировку при градуировке, нужно затем сфокусировать каждую линию в отдельности, перемещая объектив камеры; показания маховичка этого объектива, при которых фокусировались линии различных участков спектра, следует записать и пользоваться ими при работе со сплошным спектром.

Нужно также иметь в виду наличие мертвого хода в механизме, вращающем дисперсионную систему. Как известно, мертвый ход можно исключить, если вращать систему всегда в одну сторону. В данной задаче полезно определить величину мертвого хода, т.к. она может сказаться на определении  $\lambda_0$ .

При снятии спектральных кривых источником сплошного спектра служит лампа накаливания.

Кривая поглощения снимается при помощи серно-серебряного фотоэлемента, соединенного с гальванометром. Для шунтирования гальванометра используется магазин сопротивлений.

Против входной щели устанавливается кристалл CdS так, чтобы он находился на оси прибора.

Ширина щелей выбирается такой, чтобы свет целиком заполнил поверхность кристалла (ширина входной и выходной щелей берется одинаковой, т.к. данный монохроматор имеет увеличение 1:1).

Затем за кристаллом становится фотоэлемент и снимается зависимость фототока от длины волны. Как известно, величина последнего будет пропорциональна величине светового потока, падающего на фотоэлемент (в данном случае величине светового потока, прошедшего через кристалл,  $i = \beta I$ ).

Убрав кристалл, снова снимают зависимость фототока от длины волны (т.е.  $i_0 = \beta I_0$ ).

Пользуясь полученными кривыми, легко построить кривую

$$\frac{I_0 - I}{I_0} = f(\lambda) \quad (\text{x})$$

Определить по ней границу полосы поглощения  $\lambda_0$ . Построение этой кривой лучше производить графически: на одних и тех же осях координат строятся кривые  $I = f(\lambda)$  и  $I_0 = f_0(\lambda)$ , пользуясь ординатами этих кривых, вычисляют ординаты кривой (x) и строят ее на этом графике.

Кривая фотопроводимости снимается с помощью тераомметра. Прежде чем делать измерения, надо убедиться, что свет не попадает на контакты, кроме того, на сам кристалл не должен попадать посторонний свет, для чего он закрывается специальным футляром или черной тряпкой.

Описание тераомметра и правила работы с ним даются в приложении.

### ЗАДАНИЕ

1. Проградуировать монохроматор МС-2 по спектру ртути.
2. Подключив образец к тераомметру, измерить его темновое сопротивление.
3. Установить лампу накаливания и, пользуясь осветительной линзой, заполнить прибор светом.

4. Освещая образец, снять кривую зависимости сопротивления образца  $\rho$  от  $\lambda$ . По этим данным построить кривую  $\Delta\sigma(\lambda)$ , где  $\Delta\sigma = \frac{1}{\rho} - \frac{1}{\rho_{\text{темн.}}}$ .

5. Поставить фотоэлемент за образцом (как можно ближе к образцу) и снять кривую зависимости тока фотоэлемента  $I$  от  $\lambda$ .

6. Убрав образец, снять кривую зависимости фототока  $I_0$  от  $\lambda$ .

7. Построить кривую  $\frac{I_0 - I}{I_0} = f(\lambda)$  и определить по ней границу полосы поглощения  $\lambda_0$ . Далее, по снятой кривой  $\Delta\sigma(\lambda)$  определить границу fotocувствительности  $\lambda_0$ . По экспериментальным данным определить  $\Delta E = h\nu_0$ .

### Требования, предъявляемые к отчету.

Отчет должен содержать:

1. Оптическую схему установки.
2. Кривую градуировки монохроматора.
3. Кривую  $\frac{I_0 - I}{I_0} = f(\lambda)$  с определением границы поглощения.
4. Кривую  $\Delta\sigma(\lambda)$  с определением границы fotocувствительности.
5. Значения  $\Delta E$ , найденные из этих двух кривых, и усредненное значение  $\Delta E$ .