

МОСКОВСКИЙ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА

**Определение ширины запрещённой зоны  
полупроводника по спектральной зависимости  
собственной фотопроводимости**

выполнила студентка 654а группы ФЭФМ

Карпова Татьяна

Долгопрудный, 2019 г.

# 1 Цель работы

Определение ширины запрещённой зоны полупроводников (CdSe, Si) по спектральной зависимости собственной фотопроводимости

## 2 Теоретические положения

**Внутренний фотоэффект (фотопроводимость)** – это способность полупроводника увеличивать электропроводность под действием квантов света. При воздействии на полупроводник излучения с энергией, близкой к ширине запрещённой зоны, возникают неравновесные носители заряда, и увеличивается проводимость полупроводника.

Коэффициент поглощения для непрямых оптических переходов:

$$K = C \left[ \frac{(\hbar\nu - E_g + \hbar\omega_q)^2}{\exp(\frac{\hbar\omega_q}{kT}) - 1} + \frac{(\hbar\nu - E_g - \hbar\omega_q)^2}{1 - \exp(-\frac{\hbar\omega_q}{kT})} \right], \quad (1)$$

где  $\hbar\nu$  – энергия падающего кванта,  $E_g$  – ширина запрещённой зоны,  $\pm\hbar\omega_q$  – энергия фонона при поглощении. Первое слагаемое здесь характеризует вклад переходов с поглощением фононов, второе – с испусканием фононов. Тогда график зависимости  $\sqrt{K}$  от  $\hbar\nu$  при  $\hbar\nu < (E_g + \hbar\omega_q)$  должен представлять собой прямую, пересекающую ось энергий в точке

$$\hbar\nu_1 = E_g - \hbar\omega_q \quad (2)$$

При энергиях квантов, больших  $(E_g + \hbar\omega_q)$ , начинают преобладать переходы с эмиссией фононов; зависимость  $\sqrt{K}$  от  $\hbar\nu$  аппроксимируется прямой, пересекающей ось энергий в точке

$$\hbar\nu_2 = E_g + \hbar\omega_q \quad (3)$$

Тогда из зависимости  $\sqrt{K}$  от  $\hbar\nu$  можно определить ширину запрещённой зоны:

$$E_g = \frac{\hbar\nu_1 + \hbar\nu_2}{2} \quad (4)$$

и энергию характерного фонона оптического перехода:

$$\hbar\omega_q = \frac{\hbar\nu_2 - \hbar\nu_1}{2} \quad (5)$$

При решении уравнений непрерывности, описывающих генерацию пар неравновесных носителей заряда, можно определить зависимость их распределения в образце в направлении освещения от координаты и рассчитать изменение проводимости образца. В оптически тонких образцах ( $Kd \ll 1$ ):

$$\Delta \sum / N_0 \sim K\tau, \quad (6)$$

где  $\tau$  – время жизни носителя заряда ( $\tau_n \simeq \tau_p \simeq \tau$ ),  $N_0$  – поток квантов на единицу поверхности,  $\Delta \sum$  – полное изменение проводимости образца. При ( $Kd \gg 1$ ):

$$\Delta \sum / N_0 \sim (1 + \frac{S}{DK}), \quad (7)$$

где  $S$  – скорость поверхностной рекомбинации,  $D$  – коэффициент амбиполярной диффузии.

### 3 Экспериментальная установка

Для измерения фотоответа полупроводника  $\Delta \Sigma$  образец включается последовательно с нагрузочным сопротивлением и источником постоянного напряжения. При освещении проводимость образца возрастает, происходит перераспределение напряжения между образцом и нагрузкой и падение напряжения на образце при малом относительном увеличении проводимости. Для повышения чувствительности измерения проводятся при периодическом прерывании светового потока. Схема установки для исследования спектров фотопроводимости представлена на рис. 1.

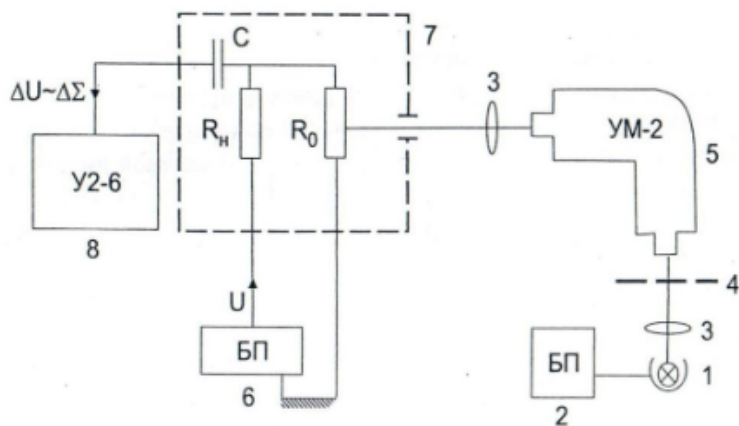


Рис. 1: Схема экспериментальной установки. 1 – осветитель, 2 – блок питания осветителя, 3 – линзы, 4 – механический модулятор излучения, 5 – монохроматор, 6 – блок питания образца, 7 – схема включения образца, 8 – усилитель

## 4 Результаты измерений

Были произведены измерения спектральной зависимости собственной проводимости CdSe и Si. На рисунках 2 и 3 представлены непосредственные спектральные характеристики (зависимость сигнала фотоответа от энергии падающих квантов). На рис. 4 и 5 представлены зависимости корня сигнала фотоответа от энергии падающих квантов и их линейные аппроксимации.

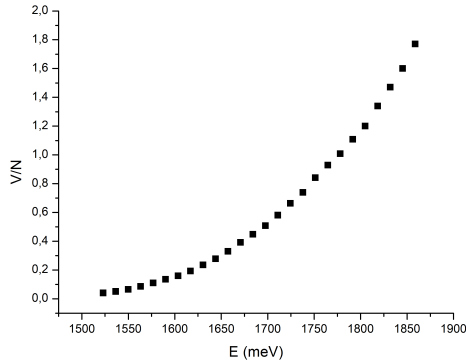


Рис. 2: Спектральная характеристика CdSe

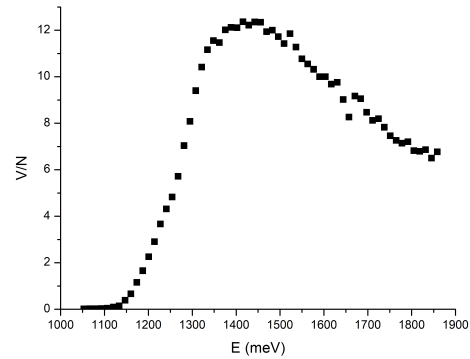


Рис. 3: Спектральная характеристика Si

Используя формулы (4) и (5), определим ширину запрещённой зоны и энергию характерного фонона исследуемых полупроводников:

$$\begin{array}{lll} \text{CdSe:} & E_g = 1509 \text{ meV} & \hbar\omega_q = 20 \text{ meV} \\ \text{Si:} & E_g = 1003 \text{ meV} & \hbar\omega_q = 80 \text{ meV} \end{array}$$

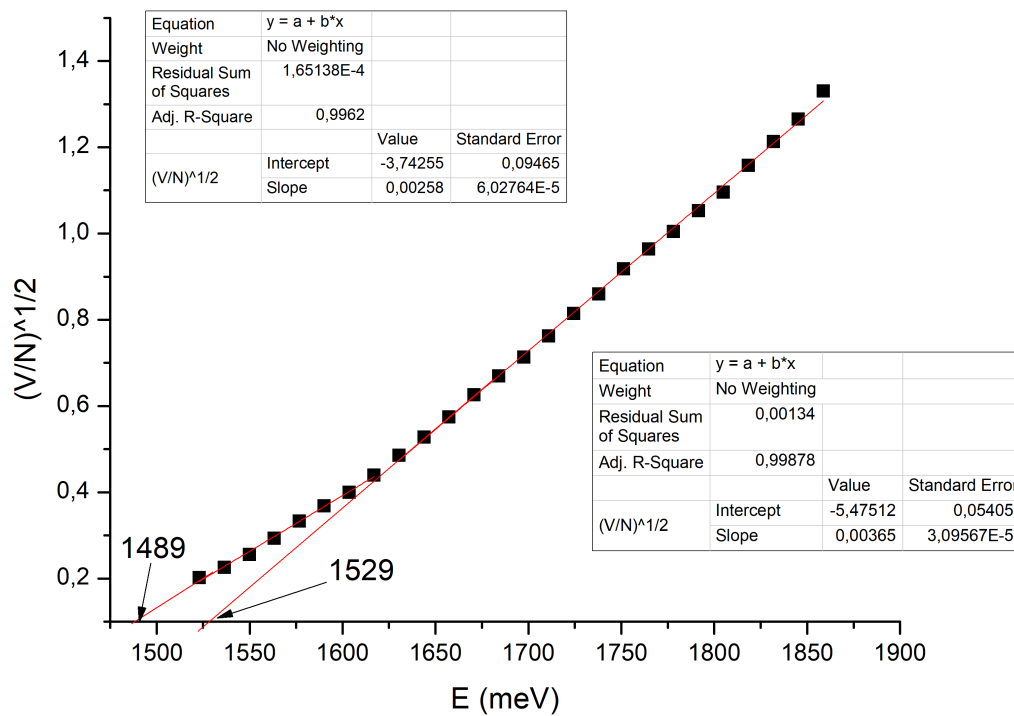


Рис. 4: Определение ширины запрещённой зоны CdSe

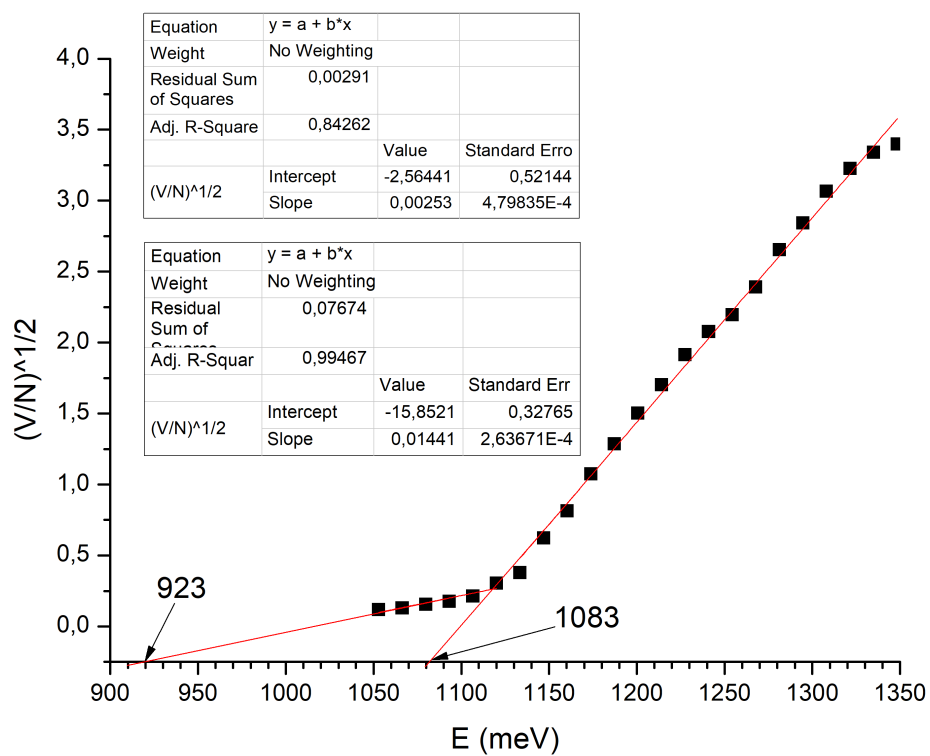


Рис. 5: Определение ширины запрещённой зоны Si

## 5 Вывод

В ходе работы были измерены спектральные зависимости собственной фотопроводимости селенида кадмия и кремния, по полученным зависимостям определены ширина запрещённой зоны и энергия характерных квантов оптических переходов. Значения не совпали с табличными; возможно, сбита калибровка установки.