

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА ПО ТВЕРДОТЕЛЬНОЙ ЭЛЕКТРОНИКЕ

№ 3. Определение ширины запрещенной зоны полупроводников

Яромир Водзяновский Б04-855а Данила Буданый

Цель работы: Определение ширины запрещённой зоны материала фоторезистора (CdSe) по спектральной зависимости собственной фотопроводимости.

1 Эксперимент

Получили зависимость сигнала относительного фотоответа от энергии

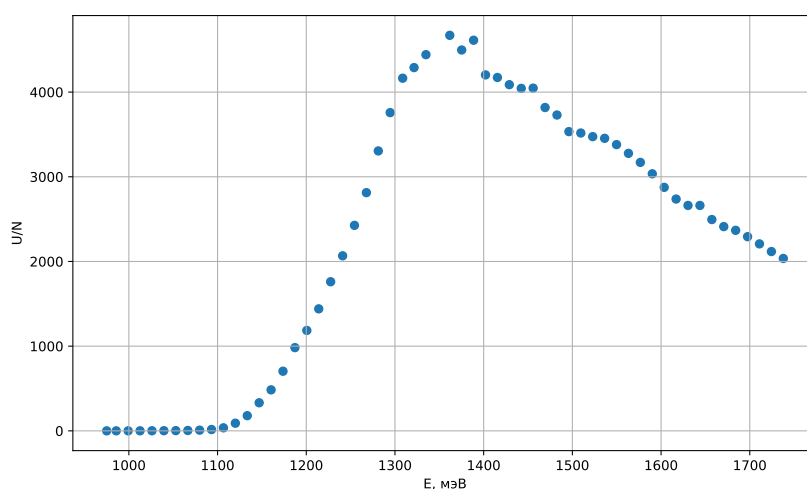


Рис. 1

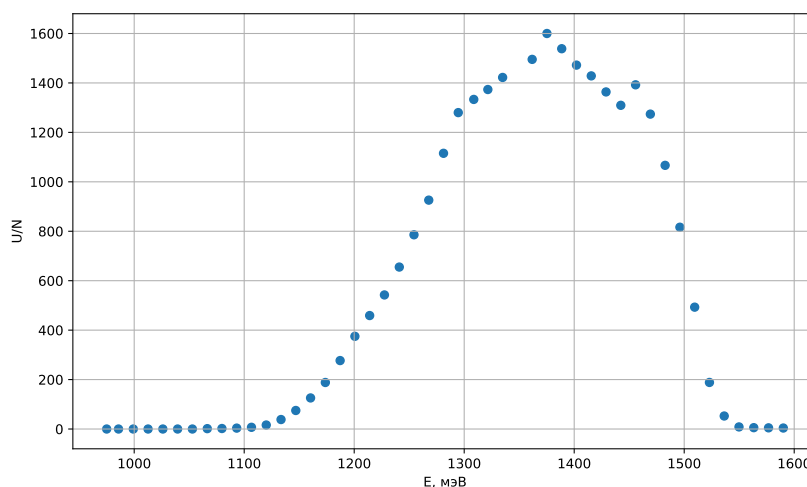


Рис. 2

Определим энергию фонона и ширину запрещенной зоны с добавлением аппроксимации и дальнейшей математической экстраполяции в области малой оптической толщины ($Kd \ll 1$) рис 3

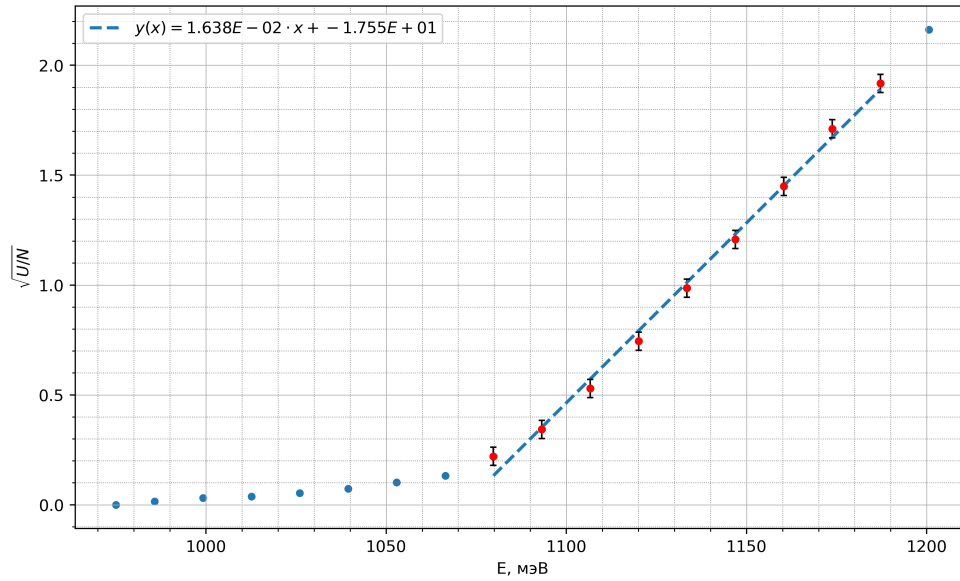


Рис. 3

Энергия фонона равна 50 мэВ. Ширина запрещенной зоны 1071 мэВ

2 Вопросы

1. Что такое скорость оптической генерации? Её размерность?

Скоростью оптической генерации называют количество пар электронов и дырок, появляющихся в единице объёма за единицу времени. Таким образом размерность скорости оптической генерации – $[g] = c^{-1} \cdot m^{-3}$.

2. Разъяснить понятие «оптически тонкий образец»

В случае, когда скорость оптической генерации слабо изменяется в направлении освещения, говорят, что образец является оптически тонким. Это утверждение аналогично тому, что поглощение света в образце очень слабое. Математическое утверждение выглядит следующим образом: $g \sim e^{-Kx}$, где K – коэффициент поглощения. Отсюда следует, что образец называется оптически тонким при выполнении условия $Kd \ll 1$

3. Получить выражение для скорости оптической генерации в случае, когда образец можно считать оптически тонким.

$$g(x) = \beta \frac{KN_0(1-R)}{1-R^2e^{-2Kd}}(e^{-Kx} + Re^{-K(2d-x)})$$

При малой оптической толщине $kd \ll 1$. Для $\beta \approx 1$

$$g(x) \approx \frac{KN_0(1-R)}{1-R^2(1-2Kd)}((1-Kx) + R(1-2Kd+Kx))$$

$$g(x) \approx \frac{KN_0(1-R)}{(1-R)^2}(1+R) = KN_0$$

4. Как зависит фотопроводимость от коэффициента поглощения при энергиях света, когда образец можно считать оптически тонким? Оптически толстым?

(а) Опт. тонкий

Из $\Delta n = \Delta p$ - условие электронейтральности вытекает $\tau_n = \tau_p = \tau$:

$$\Delta \Sigma = \frac{e(\mu_n + \mu_p)\omega}{l} K(h\nu) N_0 \tau$$

$$\Delta \Sigma \sim KN_0 \tau$$

(b) Опт. толстый

При $g \approx K(1 - R)N_0e^{-Kx}$

$$\Delta\Sigma \sim \frac{N_0}{\tau}$$

5. Рассчитать коэффициент пропорциональности между энергией кванта света в эВ и соответствующей длиной волны в мкм.

$$E = h\nu = h\frac{c}{\lambda} \rightarrow \lambda E = hc = const \Rightarrow 1 \text{ эВ} \Leftrightarrow 1.240 \text{ мкм.}$$

6. Ширина зоны прямозонного полупроводника 0,8 эВ. При какой длине волны (в мкм) на фоторезисторе из такого материала можно наблюдать собственную фотопроводимость?

$$\lambda E = hc = 1.240 \text{ (мкм эВ)} \rightarrow \lambda = 1.5 \text{ мкм}$$

7. Темновое сопротивление фоторезистора составляет 40 кОм. Как и какое нагрузочное сопротивление надо припаять в схему для регистрации фотопроводимости, чтобы получить максимальный сигнал?

$$\Delta u = \varepsilon \frac{R_n R_o}{(R_n + R_o)} \frac{\Delta \Sigma}{\Sigma_o}$$

$$\Delta u = \varepsilon \frac{R_o^2}{(R_n + R_o)^2} \Delta \Sigma R_n \rightarrow \frac{\partial \Delta u}{\partial R_n} = 0$$

$$R_n = R_o = 40 \text{ к}\Omega$$

8. На какое расстояние успеют продиффундировать избыточные электроны в Si, если время жизни носителей составляет 10^{-4} с?
9. На рис.4 показаны спектральные зависимости фотопроводимости CdS и CdSe. Пунктирные и сплошные линии соответствуют разным температурам. Какие линии каким температурам соответствуют?

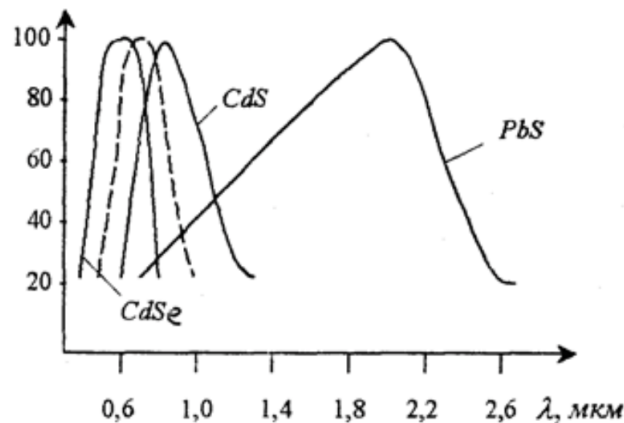


Рис. 4

10. Нарисуйте качественно зависимость сигнала фотопроводимости кремниевого фоторезистора от энергии кванта. Энергия фонона 50 мэВ.
11. Как зависит фотопроводимость U/N при Kd1 от $h\nu$ в прямозонных полупроводниках?
12. На рис.5 приведены результаты измерения сигнала U фотопроводимости (ФП) образца CdSe в зависимости от энергии $h\nu$ падающего на образец света. Этот ПП — прямозонный.



Рис. 5

Из графика зависимости коэффициента поглощения от энергии фотонов для кремния $K(h\nu)$ видно изменение оптических свойств, соответствующее переходу из оптически тонкого состояния в оптически толстое ($kd \sim 1$). При $K \cong 110 \text{ см}^{-1}$, т.е. $d \approx 91 \text{ мкм}$.