

Лабораторная работа №11.2

Исследование фотопроводимости полупроводников.

Нехаев Александр 654 гр.

15 марта 2019 г.

Содержание

1. Введение	1
1.1. Теоретические основы	1
1.2. Экспериментальная установка	3
2. Ход работы	3
3. Вывод	6

1. Введение

Цель работы: Исследовать собственную и примесную фотопроводимости. По полученной спектральной зависимости фототока определить ширину запрещенной зоны и энергию ионизации примеси полупроводника.

1.1. Теоретические основы

Важной особенностью полупроводников является способность увеличивать электропроводность под действием света. Это явление получило название внутреннего фотоэффекта или фотопроводимости.

Непосредственным результатом поглощения света в полупроводнике является увеличение числа свободных носителей тока. К появлению фотопроводимости приводят три типа переходов. В переходах первого типа электроны из заполненной зоны при поглощении фотона переводятся в зону проводимости. В результате этих переходов образуются свободные электроны и дырки. Возникающая при таких переходах фотопроводимости называется собственной. Переходы второго типа происходят при поглощении фотона атомом донорной примеси кристалла; при этом образуются свободные электроны и вакансии в донорных атомах. Переходы третьего типа возникают, когда при поглощении света электроны переходят из заполненной зоны на незанятые акцепторные уровни. В результате этого процесса образуются свободные дырки и электроны, связанные с акцепторными атомами. Фотопроводимость, возникающая в результате двух последних процессов, называется примесной.

Некоторое количество носителей тока присутствует в полупроводниках и при отсутствии света. Часть электронов переходит из заполненной зоны (и с донорных уровней) в зону проводимости (и на акцепторные уровни) в результате теплового движения. Количество таких носителей – и вместе с ним проводимость кристалла – определяется температурой кристалла и быстро увеличивается при нагревании. В этом случае говорят о

равновесных носителях тока и о темновой проводимости кристалла. Количество носителей тока равно равновесному не только в полной темноте, но и в тех случаях, когда энергия фотонов недостаточно велика для того, чтобы вызвать электронные переходы в кристалле. Фотопроводимость появляется лишь в том случае, если частота света выше пороговой. Эта минимальная частота, при которой начинается фотопроводимость, называется красной границей фотоэффекта.

В отличие от тепловой, световая энергия запасается электронами полупроводника и практически не изменяет температуры кристаллической решетки. Поэтому в присутствии света тепловое равновесие между электронами и решеткой нарушается. Носители тока, возникающие в результате оптической ионизации, являются неравновесными.

После того как освещение кристалла прекращается, равновесие между электронами и решеткой восстанавливается. В обычных условиях энергия, запасенная неравновесными носителями тока, ничтожно мала по сравнению с тепловой энергией кристаллической решетки. Процесс установления теплового равновесия между решеткой и электронами сводится к тому, что неравновесные электроны и дырки рекомбинируют друг с другом, а температура кристалла практически не меняется. Не изменяется, следовательно, и концентрация равновесных носителей. Таким образом, можно считать, что включение и выключение света изменяет концентрацию неравновесных носителей и не влияет на концентрацию равновесных носителей тока.

Измерение величины фототока может быть приведено по схеме, изображенной на рис. . Образец, изготовленный в виде пленки, включен в цепь, содержащую источник ЭДС и резистор, падение напряжения на котором измеряется цифровым вольтметром В7-34А. При освещении образца ток в цепи возрастает, возрастают и показания вольтметра. Подобного рода простые схемы пригодны для измерения только в том случае, когда фототок превосходит темновой ток или, в худшем случае, одного с ним порядка. Если это не так, приходится усложнять экспериментальную установку. Чаще всего при этом световой ток модулируется по амплитуде. Связанную со светом переменную составляющую полного тока нетрудно выделить на фоне даже очень большого постоянного по величине темнового тока.

Зависимость величины фототока от частоты падающего света (спектральная зависимость фототока) имеет сложный вид, но ее характерной особенностью является наличие красной границы – резкого обрыва кривой со стороны низких частот. Положение красной границы определяет наименьшую энергию фотонов, при которой может происходить образование носителей. Вид кривой вправо от красной границы (в сторону увеличения частот) может быть различным. После резкого подъема кривая фототока может быстро спадать (как у образца CdS), а может выходить на широкое плато (как например, у образца селена). Перед основным подъемом, соответствующим энергии, при которой происходит переход электронов из заполненной зоны в зону проводимости, могут быть видны небольшие дополнительные максимумы. Эти максимумы связаны с примесными уровнями (переходы второго и третьего типа на рис.). Как видно из рис. , энергия этих переходов меньше энергии, необходимой для перехода из заполненной зоны в зону проводимости, так что их красная граница находится слева от красной границы собственного перехода.

Соотношение величины подъемов кривой фототока на собственных и на примесных переходах зависит от концентрации примесей и от температуры. В чистых полупроводниках концентрация примесей очень мала. Кроме того, фотонное возбуждение примеси приводит к появлению всего одного носителя тока – электрона или дырки, в то же время как при собственной проводимости поглощение каждого фотона сопровождается возникновением электрона и дырки одновременно.

С повышением температуры примесная фотопроводимость уменьшается быстрее, чем собственная. Может случиться, что уже при комнатной температуре большая часть при-

месных атомов термически ионизируется, и оставшаяся часть дает незначительный вклад в оттопроводимость. Поэтому примесная фотопроводимость может оказаться значительно меньше собственной фотопроводимости.

В предлагаемой работе положение примесных уровней и ширины запрещенной зоны полупроводника определяются по энергиям, при которых начинаются подъемы кривой фототока.

Опыты проводятся на полупроводящих пленках или тонких пластинках монокристаллов CdS и CdSe с примесью ионов меди или без примеси. В отличие от большинства полупроводников, ширина запрещенной зоны у этих полупроводников сравнительно велика (более 1,5 эВ). Акцепторный уровень, обусловленный ионами меди, находится на большом удалении как от заполненной зоны, так и от зоны проводимости. В этих условиях красная граница примесной фотопроводимости лежит в области видимого света, в то время как у большинства других полупроводников она расположена в инфракрасной области. Малый темновой ток и большой световой выход позволяют проводить опыты без модуляции светового потока.

1.2. Экспериментальная установка

Свет от источника И с помощью линзы Л фокусируется на входную щель монохроматора УМ-2. Эта щель находится в фокусе коллиматорной линзы Л₁.

Параллельный пучок лучей, выходящий из линзы Л₁, разлагается в спектр призмой П. Выходная щель находится в фокальной плоскости окулярной линзы 2 и вырезает из спектра нужную область. Прошедший сквозь выходную щель свет падает на ячейку с исследуемым образцом, обозначенную на рисунке буквой Я. Последовательно с образцом включены стабилизированный выпрямитель, служащий источником ЭДС. Вольтметр В7-34 служит для измерения тока, протекающего через образец.

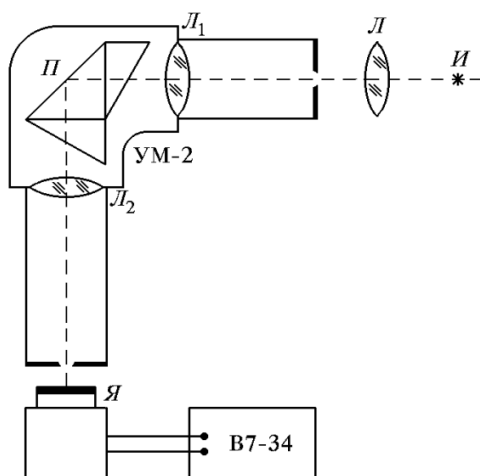


Рис. 1: Схема установки для исследования спектральной зависимости фототока

2. Ход работы

Проверим калибровку монохроматора по известному длине волны жёлтой и зелёной линий неоновой лампы.

Как видно из таблицы 1, измеренное значение количества делений, соответствующего некоторой длине волны, отличается от показаний, полученных из калибровочного графика на десятые доли процента.

$\lambda, \text{\AA}$	$\varphi_{\text{график}}, \text{ дел}$	$\varphi_{\text{практическое}}, \text{ дел}$
5852.49	2480	2475
5400.56	2250	2260

Таблица 1: Проверка калибровка монохроматора

Теперь измерим зависимость фототока I от длины волны излучения λ , используя в качестве источника лампу накаливания. Темновой ток в образцах составлял долю, сравнимую с шумами прибора, поэтому им пренебрегаем. Измерялось напряжение на резисторе сопротивлением $R = 40 \text{ кОм}$. Длину волны находим из калибровочного графика. Ток, приходящийся на постоянный поток фотонов I_{re} рассчитываем, используя спектральную зависимость фототока.

<i>CdS</i>						<i>CdSe</i>					
$\varphi, \text{ дел}$	$V, \text{ мВ}$	$I, \text{ нА}$	q	$\lambda, \text{\AA}$	$I_{re}, \text{ нА}$	$\varphi, \text{ дел}$	$V, \text{ мВ}$	$I, \text{ нА}$	q	$\lambda, \text{\AA}$	$I_{re}, \text{ нА}$
1500	0,047	1,19	1,03	4515	1,156	1800	0,0680	1,70	1,89	4842	0,899
1600	0,066	1,66	1,05	4597	1,579	2000	0,1000	2,50	3,80	5115	0,658
1700	0,255	6,38	1,34	4712	4,768	2100	0,1220	3,05	5,15	5251	0,592
1800	0,491	12,28	1,89	4842	6,488	2200	0,1630	4,08	6,77	5390	0,602
1900	0,616	15,40	2,71	4978	5,676	2300	0,2080	5,20	8,66	5535	0,601
2000	0,750	18,75	3,80	5115	4,934	2400	0,2620	6,55	10,81	5695	0,606
2100	0,892	22,30	5,15	5251	4,328	2500	0,3380	8,45	13,23	5877	0,639
2200	1,049	26,23	6,77	5390	3,873	2550	0,3900	9,75	15,06	5980	0,648
2300	1,219	30,48	8,66	5535	3,520	2600	0,5270	13,18	16,75	6091	0,787
2400	1,397	34,93	10,81	5695	3,231	2620	0,7180	17,95	17,43	6138	1,030
2500	1,580	39,50	13,23	5877	2,987	2640	1,0300	25,75	18,11	6187	1,422
2600	1,737	43,43	16,75	6091	2,593	2650	1,2060	30,15	18,45	6212	1,635
2700	1,846	46,15	20,14	6344	2,291	2660	1,3880	34,70	18,78	6238	1,847
2730	1,860	46,50	21,16	6429	2,198	2670	1,5350	38,38	19,12	6264	2,007
2750	1,865	46,63	21,84	6488	2,135	2680	1,6350	40,88	19,46	6290	2,100
2780	1,850	46,25	22,85	6579	2,024	2690	1,7230	43,08	19,80	6317	2,175
2800	1,820	45,50	23,53	6643	1,934	2700	1,7770	44,43	20,14	6344	2,206
2850	1,694	42,35	25,23	6811	1,679	2710	1,8150	45,38	20,48	6372	2,216
2900	1,440	36,00	26,92	6993	1,337	2720	1,8450	46,13	20,82	6400	2,216
2930	1,217	30,43	27,94	7108	1,089	2730	1,8750	46,88	21,16	6429	2,216
2950	1,050	26,25	28,62	7187	0,917	2740	1,8900	47,25	21,50	6458	2,198
3000	0,568	14,20	30,31	7394	0,468	2750	1,9200	48,00	21,84	6488	2,198
3050	0,205	5,13	32,01	7614	0,160	2780	1,9480	48,70	22,85	6579	2,131
3100	0,063	1,58	33,70	7846	0,047	2800	1,9660	49,15	23,53	6643	2,089
3200	0,015	0,38	37,09	8340	0,010	2820	1,9600	49,00	24,21	6709	2,024
3300	0,008	0,20	40,48	8866	0,005	2840	1,9320	48,30	24,89	6777	1,941
3400	0,004	0,10	43,87	9405	0,002	2860	1,9050	47,63	25,56	6847	1,863
						2880	1,8500	46,25	26,24	6919	1,762
						2900	1,7900	44,75	26,92	6993	1,662
						2950	1,6050	40,13	28,62	7187	1,402
						3000	1,3200	33,00	30,31	7394	1,089
						3050	0,9300	23,25	32,01	7614	0,726
						3100	0,4800	12,00	33,70	7846	0,356
						3150	0,1510	3,78	35,40	8088	0,107
						3200	0,0250	0,63	37,09	8340	0,017
						3250	0,0040	0,10	38,79	8600	0,003

Построим графики зависимости тока на постоянный поток фотонов к длине волны для CdS и $CdSe$ соответственно:

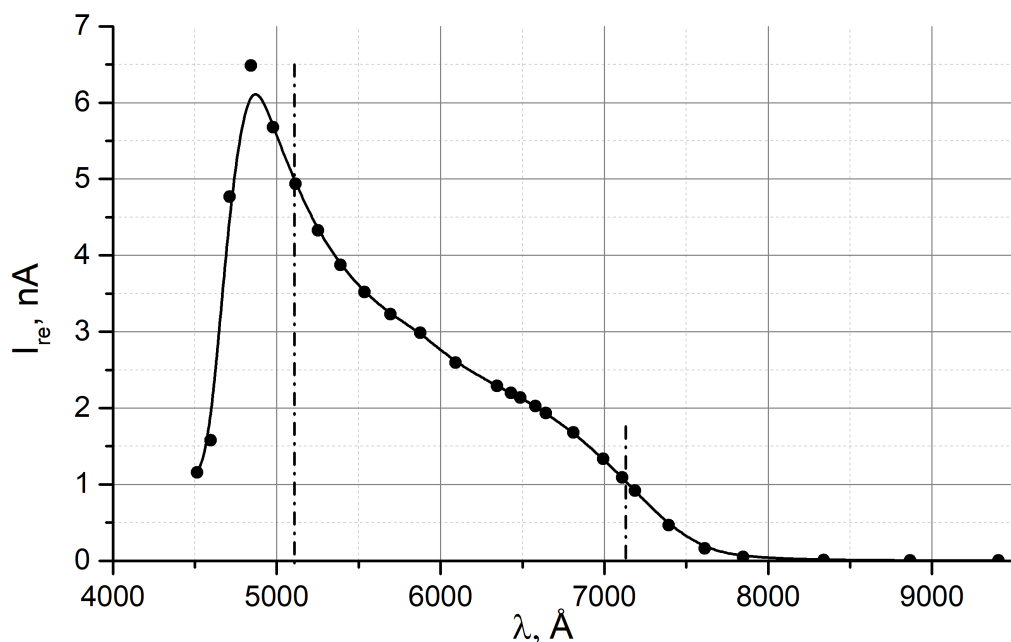


Рис. 2: CdS

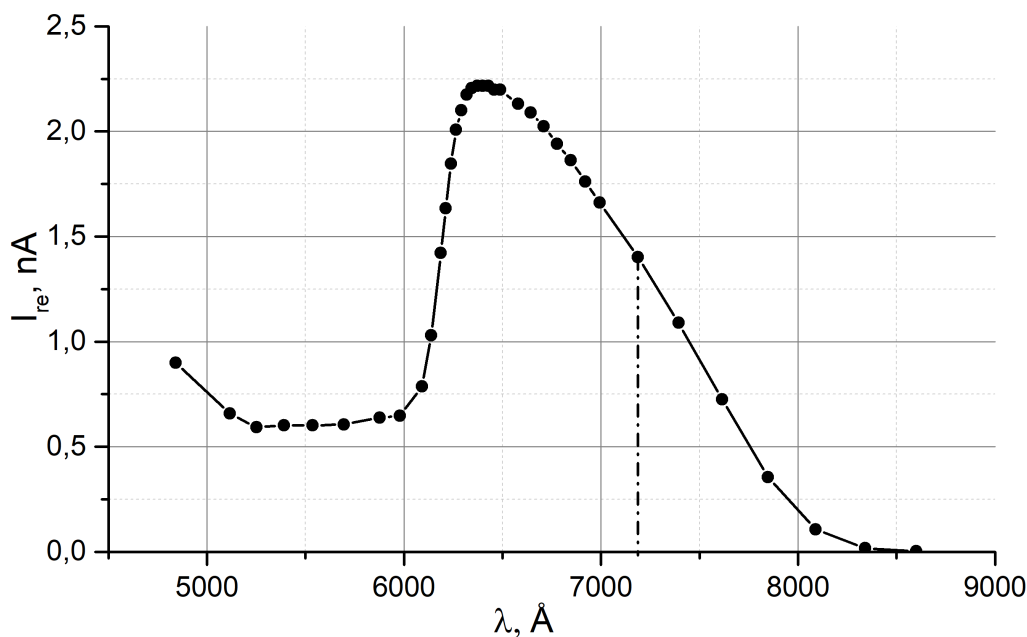


Рис. 3: $CdSe$

Проанализируем полученные спектры. CdS имеет красную границу $\lambda_{CdS} = (5100 \pm 100) \text{\AA}$. Кроме того, на длине волны $\lambda \approx 7100 \text{\AA}$ наблюдается подъём, который соответствует переходам с примесных уровней (или на них). Даже если этих переходов несколько, различить их невозможно, как и не удалось найти в таблице соответствующую энергию ионизации.

$CdSe$ имеет красную границу $\lambda_{CdSe} = (7200 \pm 100) \text{\AA}$. При уменьшении длины волны кривая фототока выходит на плато, после чего на длине волны около $\lambda \approx 500 \text{\AA}$ снова начинается подъём.

3. Вывод

В работе были определены температурный коэффициент сопротивления меди α и ширина запрещённой зоны Δ полупроводника, из чего был сделан вывод, что этот полупроводник — германий:

	Эксперимент	Таблица
$\alpha, 10^{-3} K^{-1}$	(3.27 ± 0.02)	$(3.8 \div 4.3)$
$\Delta, \text{эВ}$	(0.685 ± 0.010)	0.67

Температурный коэффициент сопротивлений меди оказался несколько заниженным. Ширина запрещённой зоны германия совпала с табличной.