

3.3. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ РАСЧЕТНО-ГРАФИЧЕСКОЙ РАБОТЫ

Вопросы и задачи, содержащиеся в пособии, охватывают существенную часть курса физики твердого тела, входящего в спецкурсы физики: «физика конденсированного состояния» и «физические основы полупроводниковой электроники» и способствуют более глубокому усвоению теоретического материала данного раздела.

Выполнение расчетно-графической работы предполагает достаточно большой объем самостоятельной работы студента.

При выполнении расчетно-графической работы (РГР) по физике твердого тела необходимо оформить отчет в печатном виде на листах формата А4 следующего содержания.

1. Титульный лист – согласно правилам Горного университета.

2. Теоретические основы работы:

2.1. Явление, изучаемое в РГР.

2.2. Определение основных физических понятий, объектов, процессов и величин, касающихся данной работы.

3. Расчетная часть:

3.1. Задание в соответствии с вариантом.

3.2. Расчет с пояснениями.

3.3. Графики.

4. Анализ результатов. Заключение.

Анализ и выводы по результатам работы должны отражать суть изучаемого физического явления.

3.4. ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАСЧЕТНО-ГРАФИЧЕСКОЙ РАБОТЫ

Тема: расчет температурной зависимости концентрации носителей тока примесного полупроводника

Полупроводниковая пластина помещена в скрещенные электрическое и магнитное поля (рис.4.1).

l – длина проводника, d – толщина проводника, j – плотность тока через проводник, B – вектор магнитной индукции, U_H – холловская разность потенциалов.

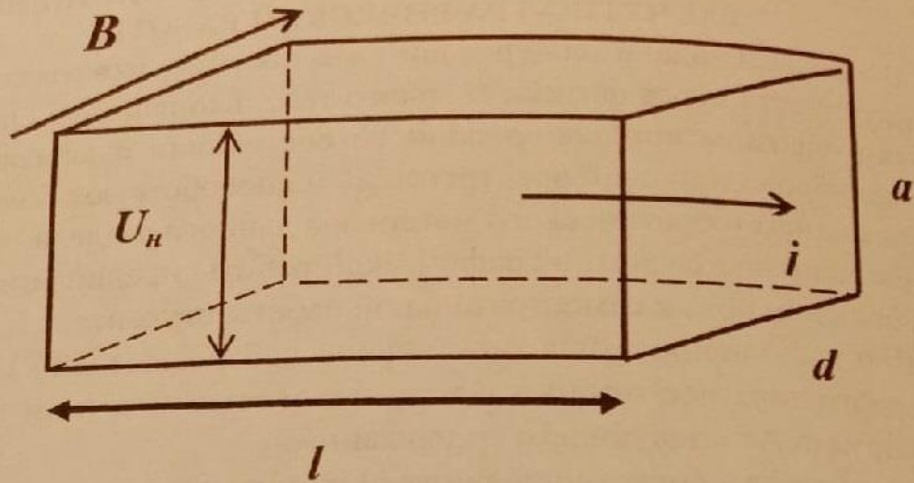


Рис. 3.1

Задача

Полупроводниковая пластина (образец кремния) с примесной проводимостью, имеющая размеры: a , d , l , помещена в магнитное поле с магнитной индукцией B . Через образец пропускается электрический ток силой I . Температура пластины 350 К. Определить неизвестные величины, указанные в таблице: силу тока I , плотность тока j , сопротивление образца R , удельное сопротивление ρ , удельную проводимость γ . Подвижность электронов принять равной $0,15 \text{ м}^2/\text{Вс}$, дырок – $0,05 \text{ м}^2/\text{Вс}$.

Рассчитайте концентрацию примесей при данной температуре.

Таблица 3.1

№ Вар.	Тип проводимости	a , мм	l , мм	d , мм	R , Ом	B мТл	I , А	j , $\text{А}\cdot\text{м}^{-2}$	γ , $\text{См}\cdot\text{м}^{-1}$	ρ , Ом $\cdot\text{м}$
1	n	0,1	40	0,15	?	200	?	6,7	0,24	?
2	n	0,11	39	0,14	?	240	?	13	?	5
3	n	0,12	38	0,13	?	220	?	8	?	2,5

Продолжение таблицы № 3.1

№ Вар.	Тип про-во-ди-мос-ти	a , мм	l , мм	d , мм	R , Ом	B мТл	I , А	j , А·м ⁻²	γ , См·м ⁻¹	ρ , Ом·м
4	<i>n</i>	0,13	37	0,12	?	250	?	8,3	?	10
5	<i>n</i>	0,14	36	0,11	?	260	?	9,1	0,11	?
6	<i>n</i>	0,15	35	0,1	?	270	0,15	?	0,22	?
7	<i>p</i>	0,16	34	0,1	?	280	0,16	?	0,2	5
8	<i>p</i>	0,17	33	0,08	?	290	0,17	?	0,3	?
9	<i>p</i>	0,18	32	0,09	?	300	0,1	?	0,32	?
10	<i>p</i>	0,19	31	0,07	?	310	0,11	?	0,33	3
11	<i>p</i>	0,2	30	0,06	?	320	?	10	0,4	?
12	<i>p</i>	0,21	29	0,05	?	33	?	12,4	?	10
13	<i>p</i>	0,22	28	0,04	?	340	?	15,9	0,11	?
14	<i>p</i>	0,23	27	0,03	?	350	?	21,7	0,22	?
15	<i>n</i>	0,24	26	0,02	?	360	?	33,3	0,2	5
16	<i>n</i>	0,25	25	0,01	?	370	0,17	?	0,3	?
17	<i>n</i>	0,26	24	0,2	?	380	0,18	?	0,32	?
18	<i>n</i>	0,27	23	0,21	?	390	0,19	?	?	2,5
19	<i>n</i>	0,28	22	0,22	?	400	0,2	?	0,1	
20	<i>n</i>	0,29	21	0,23	?	290	0,21	?	?	2,5
21	<i>n</i>	0,3	20	0,1	?	300	?	7,3	?	10
22	<i>p</i>	0,31	19	0,11	?	310	?	6,74	0,2	5
23	<i>p</i>	0,32	18	0,12	?	320	?	2,7	0,3	?
24	<i>p</i>	0,33	17	0,13	?	33	?	2,56	0,25	?
25	<i>p</i>	0,34	16	0,14	?	340	?	2,5	0,33	3
26	<i>p</i>	0,35	15	0,15	?	350	0,13	?	0,1	10
27	<i>p</i>	0,36	14	0,1	?	360	0,14	?	0,2	5
28	<i>p</i>	0,37	13	0,15	?	370	0,15	?	0,4	2,5
29	<i>p</i>	0,38	12	0,16	?	380	0,16	?	0,1	10
30	<i>n</i>	0,4	11	0,17	?	290	0,17	?	0,2	?

$$n = \sqrt{N_c \cdot N_v} e^{-\frac{E_d}{2kT}} \quad (2.13)$$

$$p = \sqrt{N_c \cdot N_v} e^{-\frac{E_a}{2kT}} \quad (2.14)$$

По мере повышения температуры концентрация электронов в зоне проводимости увеличивается, концентрация электронов на донорных уровнях уменьшается – донорные уровни истощаются. Также ведут себя и акцепторные уровни в дырочных полупроводниках. Данная область температур называется *областью истощения примесей* и обозначена на рис. 2.5 цифрой 2.

При полном истощении примесей концентрация электронов в зоне проводимости электронного полупроводника становится практически равной концентрации донорной примеси $n \approx N_d$, а концентрация дырок в дырочном полупроводнике – концентрации акцепторной примеси $p \approx N_a$. Температура истощения примеси T_S тем выше, чем выше энергия активации примеси E_d и E_a и ее концентрация.

При дальнейшем повышении температуры (область 3 на рис. 2.5) начинается все более интенсивное возбуждение собственных носителей, полупроводник все более приближается к состоянию собственного полупроводника, вследствие чего уровень Ферми приближается к положению уровня Ферми в собственном полупроводнике.

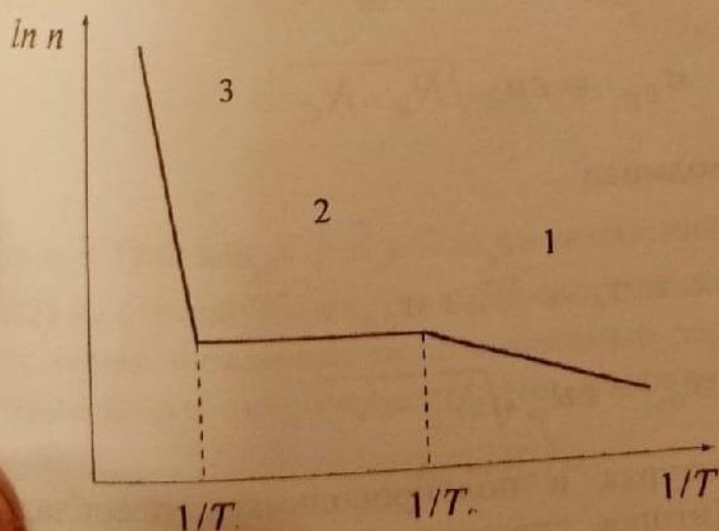


Рис. 2.5. Зависимость \ln концентрации электронов от обратной температуры

При достаточно высоких температурах концентрация собственных носителей может превзойти концентрацию примеси. Это соответствует переходу к собственной проводимости полупроводника. Температура T_i такого перехода тем выше, чем больше ширина запрещенной

Используя формулы для зависимостей концентрации носителей тока от температуры: (2.8), 2(13), и 2(14), рассчитайте концентрации носителей тока в диапазоне температур 50-500 К.

Считать энергию активации донорной примеси равной $E_D = 0,45$ эВ. Энергию активации акцепторной примеси принять равной $E_a = 0,166$ эВ. Температура истощения примеси $T_s = 50$ К. Считать, что при температуре 300 К в полупроводнике осуществляется собственная проводимость.

Постройте график зависимости концентрации от температуры в указанном диапазоне температур. По графику определите температуру перехода к собственной проводимости.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

Основная литература

1. Трофимова, Т.И. Курс физики: учеб.пособие / Т.И. Трофимова. - М.: Высш. шк., 2001 и др. г. изд.
2. Елифанов, Г.И. Физические основы микроэлектроники: учеб.пособие / Г.И. Елифанов – М.: книга по требованию, 2012. – 190 с.7
3. Физика конденсированного состояния: учебно-методический комплекс. Санкт-Петербургский горный университет/ сост.: Ю.И. Кузьмин, Н.А. Тупицкая, А.Ю. Егорова.– СПб, 2017. — 158с.
4. Чуркин, Ю.В. Физика твердого тела: учеб.пособие/ Ю.В. Чуркин, С.В. Субботин. – СПб.: Изд-во СЗТУ, 2008.
5. Шерстюк, А. И. Физика твердого тела: письм. лекции/ А. И. Шерстюк. – СПб.:Изд-во СЗТУ, 2003.
6. Физика конденсированного состояния. Учебно-методический комплекс. Санкт-Петербургский горный университет / сост.: Ю.И. Кузьмин, Н.А. Тупицкая, А.Ю. Егорова, СПб, 2017. — 191 с.

Дополнительная литература

7. Верещагин, Н.К. Физика твердого тела: учеб.пособие для вузов/ Н. К. Верещагин [и др.] – М.: Высшая школа, 2001.
8. Гуревич, А. Г. Физика твердого тела: учеб.пособие для вузов/ А. Г. Гуревич. – СПб.:Невский диалект. БХВ-Петербург, 2004.