

### Многократные измерения.

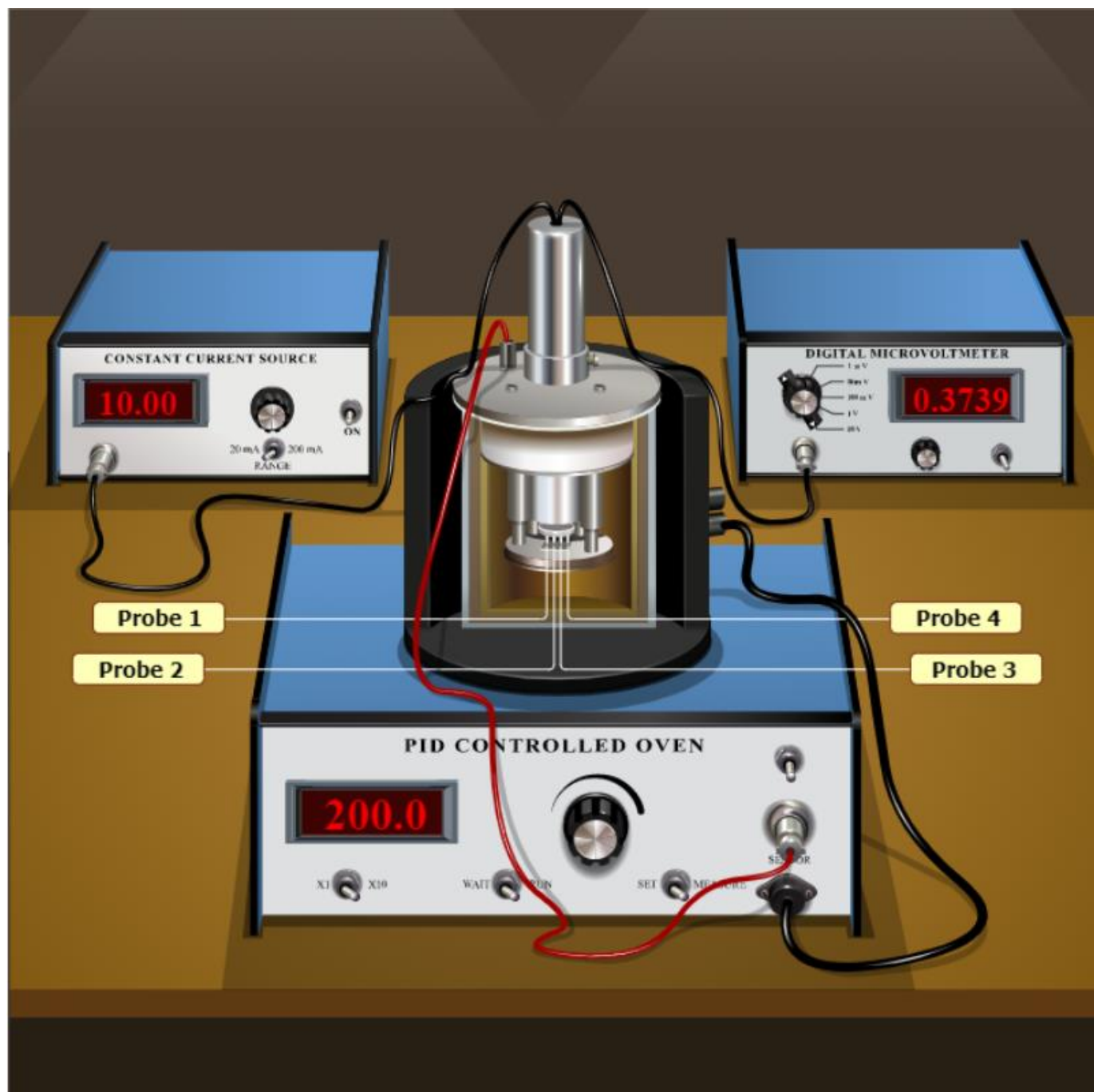
**5. Рабочие формулы и исходные данные.**

$$E_{g_{ij}} = 2k \frac{\ln R_i - \ln R_j}{\frac{1}{T_i} - \frac{1}{T_j}} = 2k \frac{T_i T_j}{T_j - T_i} \ln \left( \frac{R_i}{R_j} \right)$$

**6. Измерительные приборы.**

<i>№ п/п</i>	<i>Наименование</i>	<i>Тип прибора</i>	<i>Используемый диапазон</i>	<i>Погрешность прибора</i>
1	Вольтметр	Виртуальный	0-9 В	0,0001

## 7. Схема установки.



## 8. Результаты прямых измерений и их обработки (таблицы, примеры расчетов)

Германий						
№	T, K	I, mA	U, mB	R, Ом	ln R	10 <sup>3</sup> /T, 1/K
1	303	10	282	0,0282	-3,56843	3,300330033
2	313	10	265	0,0265	-3,63061	3,194888179
3	323	10	252	0,0252	-3,68091	3,095975232
4	333	10	240	0,024	-3,7297	3,003003003
5	343	10	228	0,0228	-3,78099	2,915451895
6	353	10	218	0,0218	-3,82585	2,83286119
7	363	10	209	0,0209	-3,86801	2,754820937
8	373	10	201	0,0201	-3,90704	2,680965147
9	383	10	194	0,0194	-3,94248	2,610966057
10	393	10	187	0,0187	-3,97923	2,544529262
11	403	10	180	0,018	-4,01738	2,481389578
12	413	10	175	0,0175	-4,04555	2,421307506
13	423	10	169	0,0169	-4,08044	2,364066194
14	433	10	164	0,0164	-4,11047	2,309468822
15	443	10	160	0,016	-4,13517	2,257336343
16	453	10	155	0,0155	-4,16692	2,207505519
17	463	10	151	0,0151	-4,19306	2,159827214
18	473	10	148	0,0148	-4,21313	2,114164905

Силикон						
№	T, K	I, mA	U, mB	R, Ом	ln R	10 <sup>3</sup> /T, 1/K
1	303	10	1198	0,1198	-2,12193	3,30033
2	313	10	1080	0,108	-2,22562	3,194888
3	323	10	980	0,098	-2,32279	3,095975
4	333	10	895	0,0895	-2,41352	3,003003
5	343	10	821	0,0821	-2,49982	2,915452
6	353	10	757	0,0757	-2,58098	2,832861
7	363	10	701	0,0701	-2,65783	2,754821
8	373	10	652	0,0652	-2,7303	2,680965
9	383	10	609	0,0609	-2,79852	2,610966
10	393	10	570	0,057	-2,8647	2,544529
11	403	10	536	0,0536	-2,92621	2,48139
12	413	10	505	0,0505	-2,98578	2,421308
13	423	10	477	0,0477	-3,04282	2,364066
14	433	10	453	0,0453	-3,09445	2,309469
15	443	10	430	0,043	-3,14656	2,257336
16	453	10	409	0,0409	-3,19663	2,207506
17	463	10	391	0,0391	-3,24163	2,159827
18	473	10	373	0,0373	-3,28876	2,114165

Примеры расчетов (для многочисленных расчетов показан пример для первой строки Германия):

$$R = \frac{U}{I} = 0,0282 \text{ Ом}$$

$$\ln R = \ln 0,0282 = -3,56843$$

## 9. Расчет результатов косвенных измерений

Разобьем массив измерений на пары точек: (1,10); (2,11); (3,12); (4,13); (5,14); (6,15); (7,16); (8,17); (9,18)

Вычислим ширину запрещенной зоны полупроводника для германия и кремния, считая первую точку в паре за  $i$ , а вторую за  $j$

Германий					
$T_i$	$T_j$	$R_i$	$R_j$	$\ln\left(\frac{R_i}{R_j}\right)$	$E_{gij}$
303	393	0,0282	0,0187	0,410798454	0,093675
313	403	0,0265	0,018	0,386772975	0,093426
323	413	0,0252	0,0175	0,364643114	0,09315
333	423	0,024	0,0169	0,350740208	0,094609
343	433	0,0228	0,0164	0,329479201	0,093707
353	443	0,0218	0,016	0,309321248	0,092629
363	453	0,0209	0,0155	0,298909135	0,094125
373	463	0,0201	0,0151	0,286025071	0,094592
383	473	0,0194	0,0148	0,270645885	0,09389

Кремний					
$T_i$	$T_j$	$R_i$	$R_j$	$\ln\left(\frac{R_i}{R_j}\right)$	$E_{gij}$
303	393	0,1198	0,057	0,742772418	0,169376
313	403	0,108	0,0536	0,700582159	0,169227
323	413	0,098	0,0505	0,662994142	0,169365
333	423	0,0895	0,0477	0,629307227	0,169749
343	433	0,0821	0,0453	0,594630984	0,169118
353	443	0,0757	0,043	0,565578045	0,169368
363	453	0,0701	0,0409	0,538792731	0,169663
373	463	0,0652	0,0391	0,511337002	0,169105
383	473	0,0609	0,0373	0,490239848	0,17007

Примеры расчетов (для многочисленных расчетов показан пример первой строки):

Для Германия:

$$E_{gij} = 2k \frac{T_i T_j}{T_j - T_i} \ln\left(\frac{R_i}{R_j}\right) = 2 * 8,61733 * 10^{-5} * \frac{303 * 393}{393 - 303} * \ln\left(\frac{0,0282}{0,0187}\right) = 0,093675$$

Для Силикона:

$$E_{gij} = 2k \frac{T_i T_j}{T_j - T_i} \ln \left( \frac{R_i}{R_j} \right) = 2 * 8,61733 * 10^{-5} * \frac{303 * 393}{393 - 303} * \ln \left( \frac{0,1198}{0,057} \right) = 0,169376$$

Среднее значение ширины запрещенной зоны:

Германий:  $\langle E_g \rangle = 0,093756 \text{ эВ} = 1,502136 * 10^{-20} \text{ Дж}$

Силикон:  $\langle E_g \rangle = 0,169449 \text{ эВ} = 2,714872 * 10^{-20} \text{ Дж}$

## 10. Расчет погрешностей измерений (для прямых и косвенных измерений)

Германий:

E	$E_i - \langle E \rangle$	$(E_i - \langle E \rangle)^2$
0,093675	-8,07E-05	6,5069E-09
0,093426	-0,00033	1,0904E-07
0,09315	-0,000606	3,6749E-07
0,094609	0,000853	7,2722E-07
0,093707	-4,92E-05	2,4167E-09
0,092629	-0,001126	1,2689E-06
0,094125	0,000369	1,3621E-07
0,094592	0,000836	6,9918E-07
0,09389	0,000135	1,8146E-08

$S_{\bar{x}}$	$\Delta E_g$
0,000215	0,000495

$$S_{\bar{x}} = \sqrt{\frac{\sum (E_i - \langle E \rangle)^2}{n(n-1)}} = 0,000215 \text{ эВ}$$

$$\Delta E_g = t_{\alpha,k} * S_{\bar{x}} = 0,000495 \text{ эВ}$$

Силикон

E	$E_i - \langle E \rangle$	$(E_i - \langle E \rangle)^2$
0,169376	-7,3219E-05	5,361E-09
0,169227	-0,00022233	4,943E-08
0,169365	-8,4405E-05	7,124E-09
0,169749	0,00030018	9,011E-08
0,169118	-0,00033097	1,095E-07
0,169368	-8,1008E-05	6,562E-09
0,169663	0,00021391	4,576E-08
0,169105	-0,00034363	1,181E-07
0,17007	0,00062146	3,862E-07

$S_{\bar{x}}$	$\Delta E_g$
0,000107	0,00024518

$$S_{\bar{x}} = \sqrt{\frac{\sum (E_i - \langle E \rangle)^2}{n(n-1)}} = 0,000107 \text{ эВ}$$

$$\Delta E_g = t_{\alpha, k} * S_{\bar{x}} = 0,000245 \text{ эВ}$$

## 11. Окончательные результаты

Германий:  $\langle E_g \rangle = 0,093756 \text{ эВ} = 1,502136 * 10^{-20} \text{ Дж}$

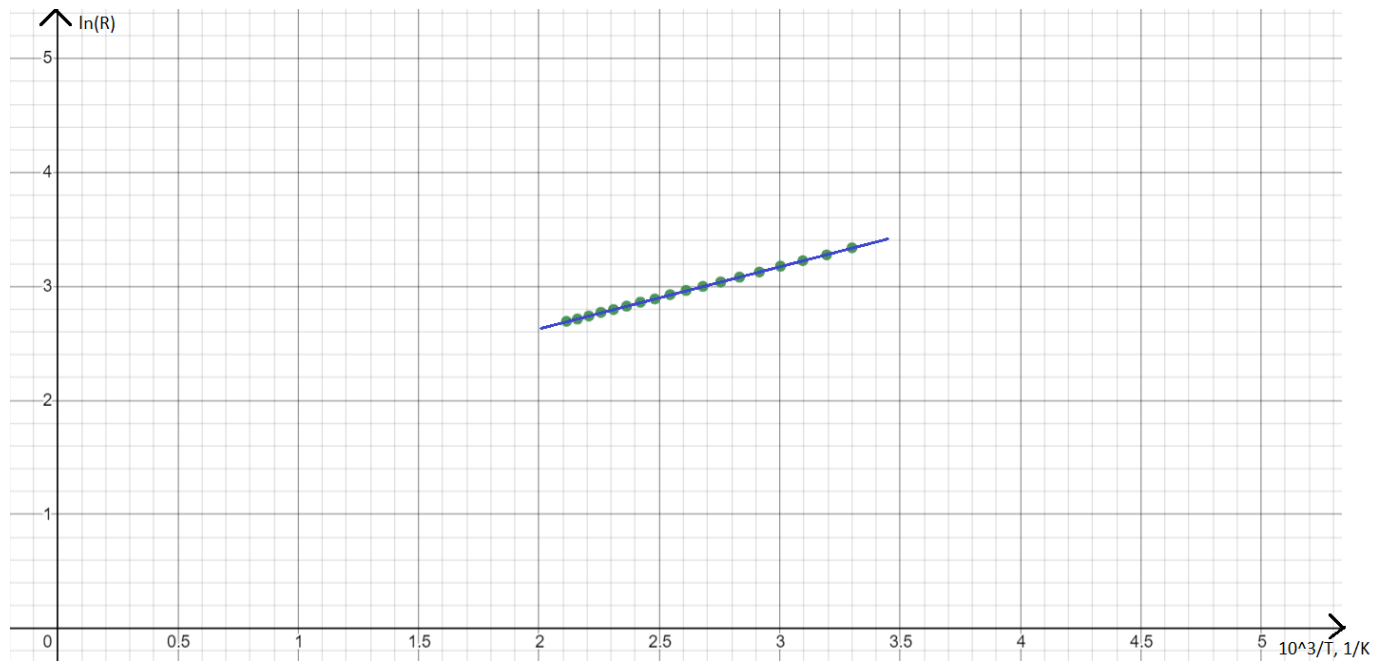
$$\Delta E_g = 0,000495 \text{ эВ}$$

Силикон:  $\langle E_g \rangle = 0,169449 \text{ эВ} = 2,714872 * 10^{-20} \text{ Дж}$

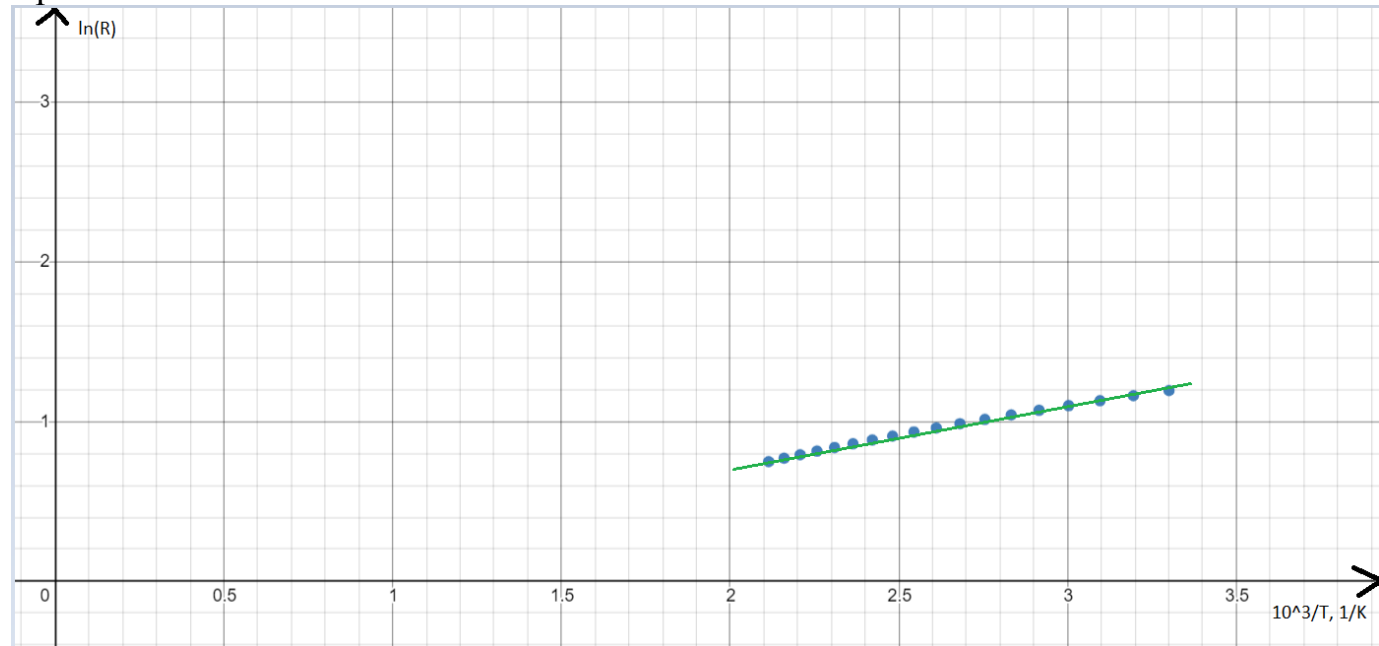
$$\Delta E_g = 0,000245 \text{ эВ}$$

## 12. Графики (перечень графиков, которые составляют Приложение):

Германий:



Кремний:



### 13. Выводы и анализ результатов работы:

В ходе выполнения данной лабораторной работы мною была установлена зависимость электрического сопротивления полупроводниковых образцов в диапазоне температур от комнатной до 200 °С . Также в процессе выполнения была вычислена ширина запрещенной зоны полупроводника, следом была вычислена ее погрешность. По построенным графикам можно убедиться, что они схожи с линейными, можно установить зависимость, что при увеличении температуры уменьшается сопротивление.