

Отчёт о выполнении лабораторной работы 3.3.4.

Эффект Холла в полупроводниках

1. Аннотация

Цель работы: изучение подвижности и концентрации носителей заряда в полупроводниках.

В работе используются: электромагнит с регулируемой силой тока; вольтметр; амперметр; миллиамперметр; микрометр или мультиметр; источник питания (1,5В); образцы полупроводников Холла.

2. Теоретическое введение

$$U_H = E_y \cdot a$$

$$\vec{F} = q\vec{E} + q\vec{v} \times \vec{B}$$

$$\vec{j} = \hat{\sigma} \vec{E} = \begin{pmatrix} \sigma_{xx} & \sigma_{xy} & \sigma_{xz} \\ \sigma_{yx} & \sigma_{yy} & \sigma_{yz} \\ \sigma_{zx} & \sigma_{zy} & \sigma_{zz} \end{pmatrix} \vec{E}$$

$$\vec{F}_{\text{оп}} = \frac{q\vec{v}}{\mu}$$

$$\vec{F}_H = \vec{F}_{\text{оп}} \Rightarrow q(\vec{E} + \vec{v} \times \vec{B}) - \frac{q\vec{v}}{\mu} = 0$$

$$E_y = \frac{v_x B_z}{nq} = \frac{j_x B_z}{nq \mu}$$

$$j_x = \sigma_0 E_x \quad (j_y = j_z = 0), \quad \text{где } \sigma_0 = qn\mu$$

Итак, получим:



$$\vec{E} = \frac{\vec{j}}{\sigma_0} - \frac{1}{ng} \vec{j} \times \vec{B}$$

$$E_x = \frac{j_x}{\sigma_0} - \frac{j_y B}{ng}; E_y = \frac{j_y}{\sigma_0} + \frac{j_x B}{ng}; E_z = \frac{j_z}{\sigma_0}$$

$$\vec{E} = \hat{\rho} \vec{j} = \begin{pmatrix} 1 & -\mu B & 0 \\ \mu B & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \frac{\vec{j}}{\sigma_0}$$

$$E_y = \rho_{yx} j_x = \frac{j_x B}{ng}$$

$$j_x = \frac{I}{ah} \Rightarrow U_{\perp} = \frac{B}{ng h} \cdot I = R_H \cdot \frac{B}{h} \cdot I,$$

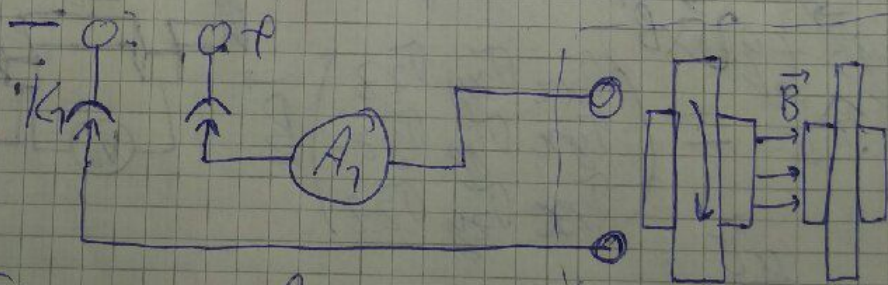
где $R_H = \frac{1}{ng}$ — нормальная Холла

3. Мемориал изобретения

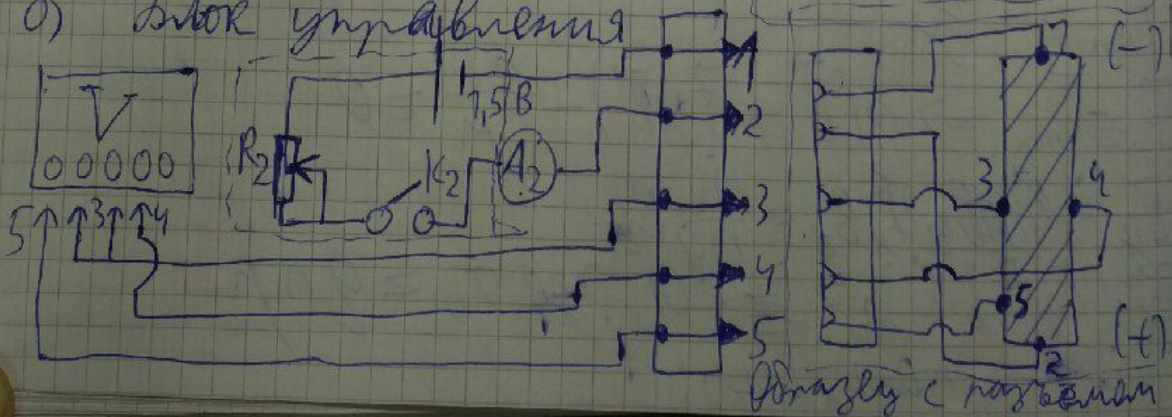
а) Уменьшение шума

настройка

Зеркальчатый шум



б) Ток управления



Правильно с настройкой

$$U_1 = U_{34} - U_0 \quad (1)$$

$$f_0 = \frac{U_{35} \cdot a h}{I l} \quad (2)$$

4. Результаты измерений и обработка данных

~~| | | | | | | | | | | | |
|----------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| I, A | 0,2 | 0,4 | 0,6 | 0,8 | 1,0 | 1,2 | 1,4 | 1,6 | 1,8 | 2,0 | 2,2 |
| $\varphi, \text{мВ}$ | 1,7 | 2,2 | 3,3 | 4,3 | 5,2 | 5,8 | 6,3 | 6,6 | 6,9 | 7,2 | 7,5 |~~
~~| | | | | | | | | |
|----------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| I, A | 0,2 | 0,4 | 0,6 | 0,8 | 1,0 | 1,2 | 1,4 | 1,6 |
| $\varphi, \text{мВ}$ | 1,7 | 2,2 | 3,3 | 4,3 | 5,5 | | | |~~

I, A	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4	1,56
$\varphi, \text{мВ}$	1,7	2,2	3,3	4,3	5,2	5,8	6,3	6,6

$$U_0 = \text{---} \text{мВ}; \quad U_0 = 0 \text{ мВ}; \quad U_0 = 7 \text{ мВ}$$

$$I = 0,3 \text{ мА} \quad 7 \text{ мВ}; \quad I = 0,4 \text{ мА}$$

$$I = 0,5 \text{ мА}$$

I, A	$U, \text{мВ}$
0,2	-37
0,4	-79
0,6	-122
0,8	-161
1,0	-194
1,2	-218
1,4	-234
1,56	-245

I, A	$U, \text{мВ}$
0,2	-53
0,4	-110
0,6	-165
0,8	-214
1,0	-261
1,2	-292
1,4	-314
1,55	-327

I, A	$U, \text{мВ}$
0,2	-67
0,4	-137
0,6	-209
0,8	-274
1,0	-328
1,2	-368
1,4	-395
1,55	-417

$$U_0 = -5 \text{ мкВ}$$

$$I = 0,6 \text{ мА}$$

$I, \text{А}$	$U, \text{мкВ}$
0,2	-83
0,4	-166
0,6	-249
0,8	-327
1,0	-393
1,2	-447
1,4	-474
1,54	-496

$$U_0 = -9 \text{ мкВ}$$

$$I = 0,8 \text{ мА}$$

$I, \text{А}$	$U, \text{мкВ}$
0,2	-173
0,4	-229
0,6	-336
0,8	-442
1,0	-537
1,2	-595
1,4	-638
1,54	-664

$$U_0 = -13 \text{ мкВ}$$

$$I = 1,0 \text{ мА}$$

$I, \text{А}$	$U, \text{мкВ}$
0,2	-142
0,4	-286
0,6	-424
0,8	-553
1,0	-663
1,2	-745
1,4	-800
1,54	-837

При перевернутом образце ($I = 1,0 \text{ мА}$; $U_0 = 13 \text{ мкВ}$)

$I, \text{А}$	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4	1,54
$U, \text{мкВ}$	135	277	477	547	660	736	797	827

без ноль ($\rho_{\text{из}}$)
 $I = 1 \text{ мА}$; $U = 4,037 \text{ мВ}$

$$SN = 75 \text{ см}^2 \text{ сум}$$

$$a = 4 \text{ мм}$$

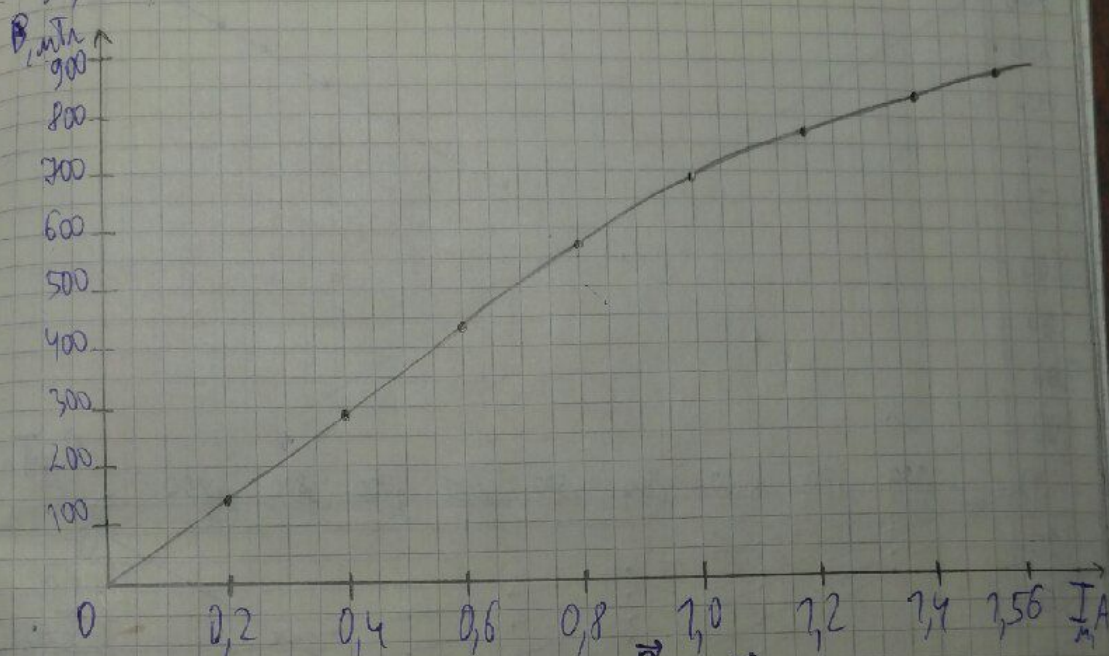
$$b_{3,5} = 5 \text{ мм}$$

$$h = 4 \text{ мм}$$

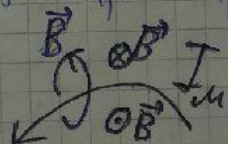
$$\Phi \approx B SN \Rightarrow B = \frac{\Phi}{SN}$$

$$U_1 = U_{34} - U_0$$

$B_{\text{мТл}}$	746,66	293,33	439,99	573,33	693,33	773,33	839,99	879,99
$I_{\text{мА}}$	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4	1,56



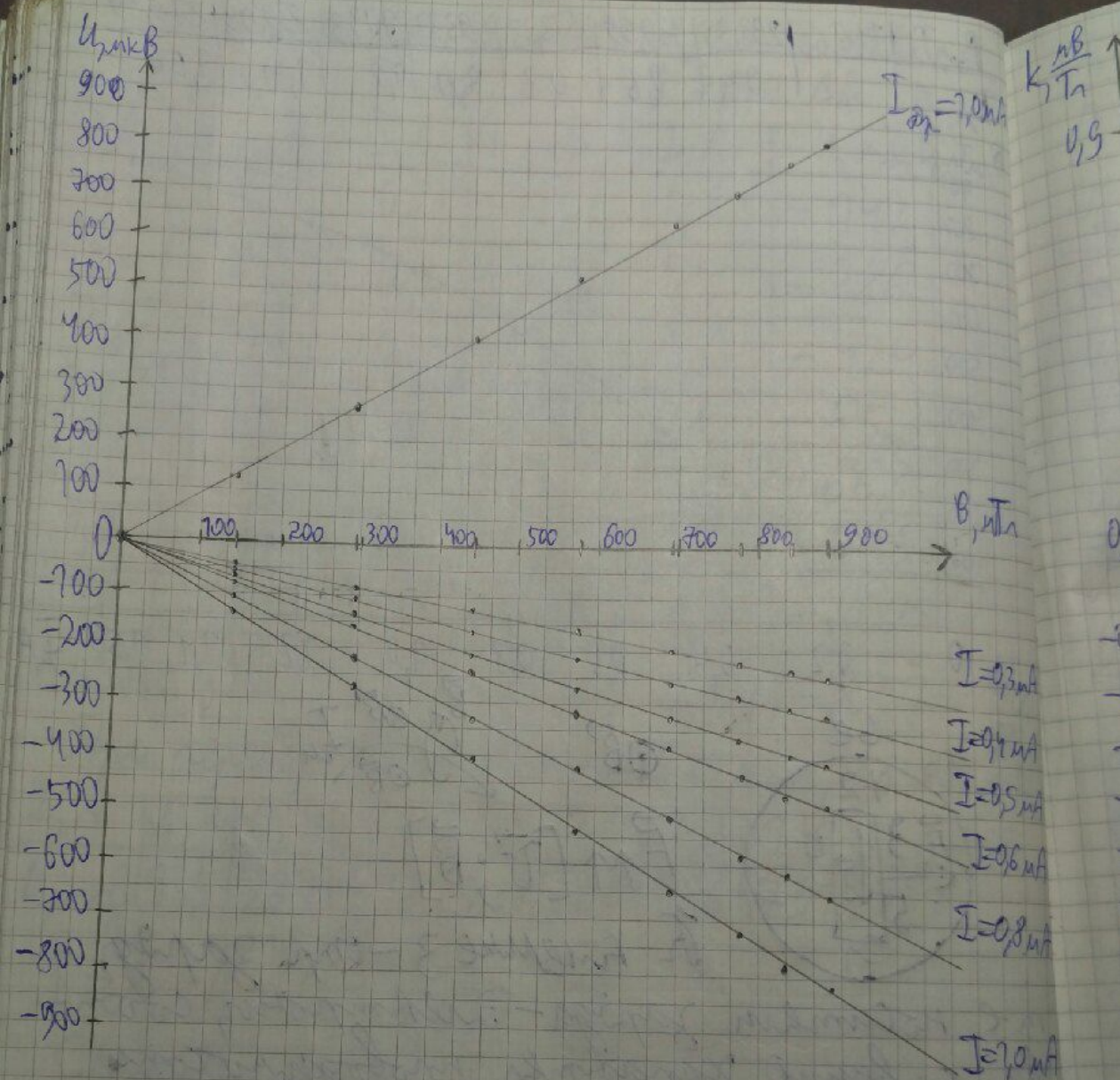
$\odot \vec{B}$



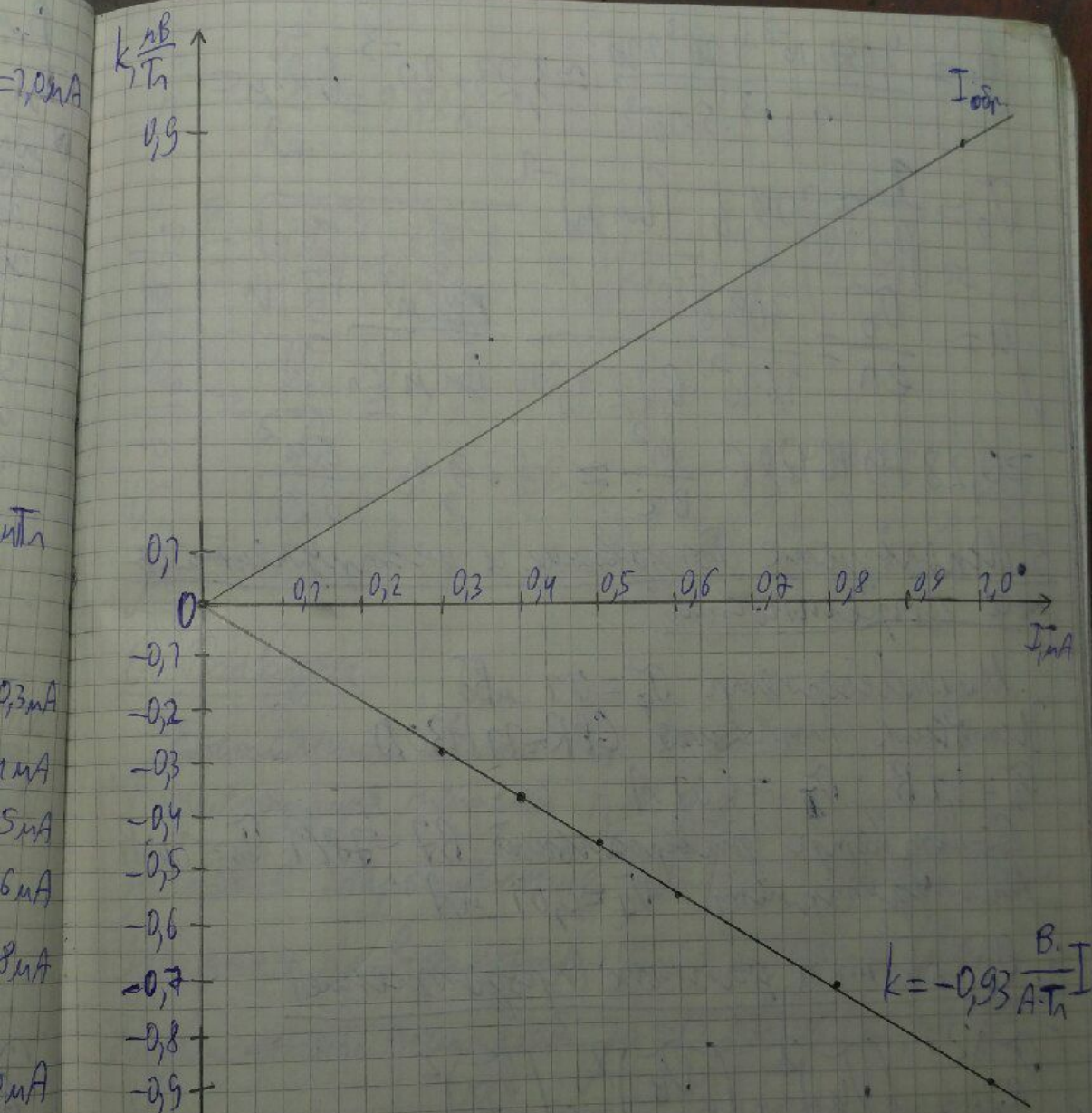
$\vec{F} \uparrow \uparrow [\vec{v}; \vec{B}]$

К клемме 3 - отриц. заряд,

т.е. носителям заряда - электронам, соответствующим характеру проводимости образца - электроны.



$k, \frac{мВ}{Тл}$	-0,28	-0,37	-0,46	-0,56	-0,74	-0,93	0,92
$I, мА$	0,3	0,4	0,5	0,6	0,8	7,0	7,0 (оп)



Handwritten calculations for the Hall coefficient R_H and the carrier density n .

The first calculation is:

$$R_H = \frac{U_H}{B I} \cdot h = +0.93 \cdot 10^{-3} \frac{B_m}{A \cdot T_n} = +9.3 \cdot 10^{-4} \frac{m^3}{Kn}$$

The second calculation is:

$$R_H = \frac{U_H}{B I} \cdot h = -0.93 \cdot 10^{-3} \frac{B_m}{A \cdot T_n} = -9.3 \cdot 10^{-4} \frac{m^3}{Kn}$$

The third calculation is:

$$n = \frac{1}{R_H e} = \frac{1}{-9.3 \cdot 10^{-4} \cdot (-1.6 \cdot 10^{-19})} = 6.72 \cdot 10^{21} m^{-3}$$

$$\rho_0 = \frac{4037 \cdot 10^{-3} \cdot 4 \cdot 10^{-3} \cdot 7 \cdot 10^{-3}}{7 \cdot 10^3 \cdot 5 \cdot 10^{-3}} \approx 3,23 \cdot 10^{-3} \text{ Ом} \cdot \text{м}$$

$$\sigma_0 = \frac{1}{\rho_0} \approx 309,6 \text{ (Ом} \cdot \text{м)}^{-1}$$

$$\mu = \frac{\sigma_0}{en} = \frac{309,6}{7,6 \cdot 10^{29} \cdot 6,72 \cdot 10^{21}} \frac{\text{Ом} \cdot \text{м}^3}{\text{Ом} \cdot \text{м} \cdot \text{Кн}} =$$

$$\approx 0,2879464286 \frac{\text{м}^2}{\text{В} \cdot \text{с}} \approx 2879,46 \frac{\text{см}^2}{\text{В} \cdot \text{с}}$$

5. Минимальное оборудование и инструментальные возможности

Минимальное напряжение $\sigma_\phi = 0,1 \text{ мВ}$

Источник питания GPR-77 МЗОВ

$\sigma_u = 0,1 \text{ В}$; $\sigma_I = 0,01 \text{ А}$

Вольтметр универсальный В7-78/1 $\sigma_u = 2 \text{ мВ}$

Миллиамперметр $\sigma_I = 0,01 \text{ мА}$

4. Обработка данных (прогонка)

$$\left(\frac{\sigma_{R_H}}{R_H} \right)^2 = \left(\frac{\sigma_u}{u} \right)^2 + \left(\frac{\sigma_B}{B} \right)^2 + \left(\frac{\sigma_I}{I} \right)^2$$

$$\left(\frac{\sigma_B}{B} \right)^2 = \left(\frac{\sigma_\phi}{\phi} \right)^2$$

$$\frac{\sigma_{R_H}}{R_H} = \sqrt{\left(\frac{7}{818} \right)^2 + \left(\frac{0,1}{6,6} \right)^2 + \left(\frac{0,01}{7} \right)^2} \approx 7,82\%$$

$$\frac{\sigma_n}{n} = \frac{\sigma_{R_H}}{R_H} = 7,82\%$$

$$\frac{\sigma_{f_0}}{f_0} = \sqrt{\left(\frac{\sigma_u}{u}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_j}{j}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{7}{4032}\right)^2 + \left(\frac{0,07}{7}\right)^2} \approx 7\%$$

$$\frac{\sigma_{\sigma_0}}{\sigma_0} = \frac{\sigma_{f_0}}{f_0} = 7\%$$

$$\frac{\sigma_\mu}{\mu} = \sqrt{\left(\frac{\sigma_{\sigma_0}}{\sigma_0}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_n}{n}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{7}{100}\right)^2 + \left(\frac{7,82}{100}\right)^2} \approx 2,7\%$$

6. Выводы

Ростовская лампа $R_H = (9,30 \pm 0,77) \cdot 10^{-4} \frac{\text{м}^3}{\text{Кл}}$

Концентрация носителей $n = (6,72 \pm 0,72) \cdot 10^{21} \text{ м}^{-3}$

Удельное сопротивление $\rho_0 = (3,23 \pm 0,03) \cdot 10^{-3} \text{ Ом} \cdot \text{м}$

Удельная проводимость $\sigma_0 = (309,6 \pm 3,7) (\text{Ом} \cdot \text{м})^{-1}$

Подвижность носителей $\mu = (2879,46 \pm 60,42) \frac{\text{см}^2}{\text{В} \cdot \text{с}}$

Характер проводимости — электронный.

Табличное значение для электронного проводимости $\mu = 3800 \frac{\text{см}^2}{\text{В} \cdot \text{с}}$. Полученное значение меньше табличного значения μ в 1,3 раза меньше. Это расхождение может быть обусловлено тем, что образцы был легированы, и поэтому свойства их могут отличаться.