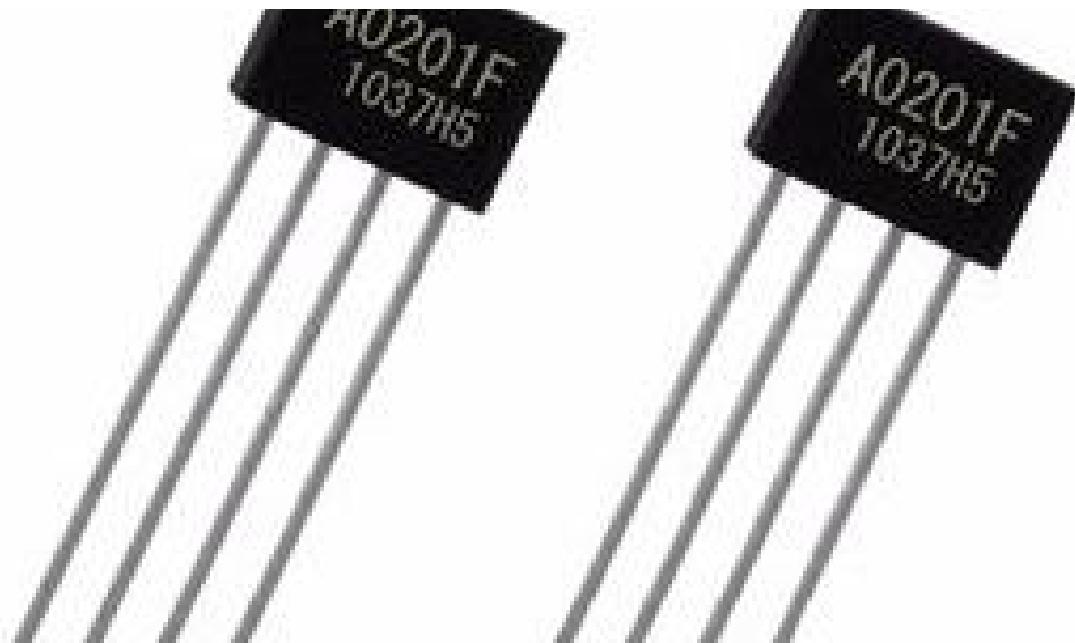


Изучение эффекта Холла в германиевом проводнике n- и р-типа (PC)



Физика

Современная физика

Физика твердого тела



Уровень сложности



Кол-во учеников



Время подготовки



Время выполнения

тяжелый

2

45+ Минут

45+ Минут

This content can also be found online at:

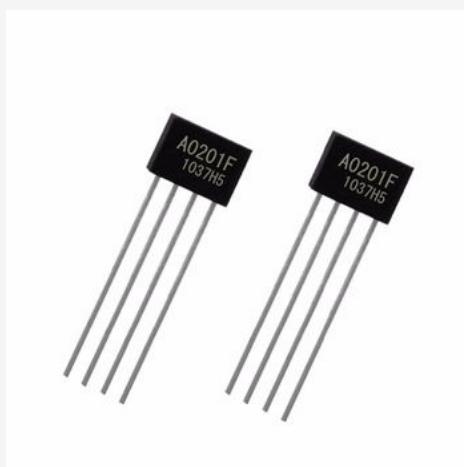
<http://localhost:1337/c/5f215840e77a360003be9a5d>

PHYWE



Общая информация

Описание



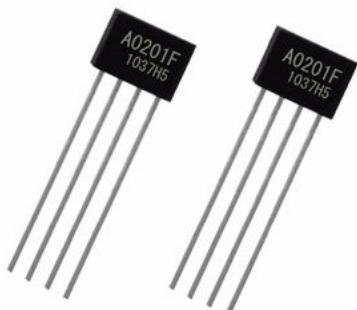
Датчик эффекта Холла

Датчик эффекта Холла состоит в основном из тонкого куска прямоугольного полупроводникового материала р-типа, такого как арсенид галлия (GaAs), антимонид индия (InSb) или арсенид индия (InAs), пропускающего через себя непрерывный ток.

Это электронное устройство используется для обнаружения эффекта Холла и измерения магнитного поля.

Датчики эффекта Холла пользуются большим спросом и широко применяются в датчиках приближения, переключателях, датчиках скорости движения колес и позиционирования и т.д.

Описание



Датчик эффекта Холла

Датчик эффекта Холла состоит в основном из тонкого куска прямоугольного полупроводникового материала р-типа, такого как арсенид галлия (GaAs), антимонид индия (InSb) или арсенид индия (InAs), пропускающего через себя непрерывный ток.

Это электронное устройство используется для обнаружения эффекта Холла и измерения магнитного поля.

Датчики эффекта Холла пользуются большим спросом и широко применяются в датчиках приближения, переключателях, датчиках скорости движения колес и позиционирования и т.д.

Дополнительная информация (1/3)



Предварительные знания



Полупроводники р-типа и н-типа создаются путем легирования собственного полупроводника акцепторами и донорами соответственно. Понятие н-типа происходит от отрицательного заряда электрона. В полупроводниках р-типа дырки являются основными носителями, а электроны - неосновными носителями, в полупроводниках н-типа электроны являются основными носителями, а дырки - неосновными

Научный принцип



Удельное сопротивление и напряжение Холла прямоугольного германиевого образца измеряются как функция температуры и магнитного поля. По результатам измерений определяется расстояние между зонами, удельная проводимость, тип носителя заряда и подвижность носителей заряда.

Дополнительная информация (2/3)



Цель обучения



Понять механизмы электропроводности в легированном германии с помощью эффекта Холла.

Задачи



- Напряжение Холла U_H измеряется при комнатной температуре и постоянном магнитном поле как функция тока управления I_p .
- Напряжение на образце U_p измеряется при комнатной температуре и постоянном токе управления как функция магнитной индукции B .

Дополнительная информация (3/3)



Задачи



- Напряжение на образце U_p измеряется при постоянном управляющем токе как функция температуры T . Расстояние между полосами р- и н-германия рассчитывается на основе измерений.
- Напряжение Холла U_H измеряется как функция магнитной индукции B при комнатной температуре. Знак носителей заряда и постоянная Холла R_H вместе с холловской подвижностью μ_H и концентрацией носителей p рассчитываются по результатам измерений.
- Напряжение Холла U_H измеряется как функция температуры T при постоянной магнитной индукции B .

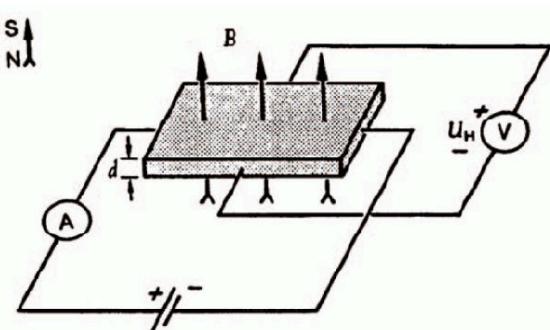
Правила техники безопасности



Для этого эксперимента применяются общие инструкции по безопасному проведению экспериментов при преподавании естественных наук.

Чтобы не повредить полупроводниковый материал, необходимо знать значения магнитного поля, протекающего тока и температуры.

Теория (1/5)



Эффект Холла в прямоугольном образце

Если ток I проходит через токопроводящую полосу прямоугольного сечения и если полоса пересекается под действием магнитного поля под прямым углом к направлению тока, между двумя наложенными друг на друга точками на противоположных сторонах полосы возникает напряжение - так называемое напряжение Холла.

Это явление возникает под действием силы Лоренца: носители заряда, вызывающие ток, протекающий через образец, отклоняются в магнитном поле B в зависимости от их знака и скорости. v :

$$\vec{F} = e(\vec{v} \times \vec{B})$$

где F - сила, действующая на носители заряда и e - элементарный заряд.

Теория (2/5)



Поскольку отрицательные и положительные носители заряда в полупроводниках движутся в противоположных направлениях, они также отклоняются в противоположных направлениях.

Таким образом, тип носителя заряда, вызывающего протекание тока, можно определить по полярности напряжения Холла, зная направление тока и направление магнитного поля.

Это означает: если направление тока и магнитное поле известны, полярность напряжения Холла определяет, является ли ток преимущественно результатом дрейфа отрицательных зарядов или положительных зарядов.

Как для р-германия, так и для п-германия существует линейная зависимость между напряжением Холла U_H и током управления I_p :

$$U_H = \alpha I_p$$

Теория (3/5)



Изменение сопротивления образца под действием магнитного поля связано с уменьшением длины свободного пробега носителей заряда. Поскольку во время измерения ток постоянен, изменение сопротивления рассчитывается как

$$\frac{R_m - R_0}{R_0} = \frac{U_m - U_0}{U_0}$$

где R_m , U_m - сопротивление и напряжение образца при наличии магнитного поля; и R_0 , U_0 - сопротивление напряжение образца при магнитном поле $B = 0$.

В области собственной проводимости имеем

$$\sigma = \sigma_0 \cdot \exp\left(\frac{E_g}{2kT}\right)$$

где σ = проводимость, E_g = энергия запрещенной зоны, k = постоянная Больцмана, T = абсолютная температура.

Теория (4/5)

PHYWE

Логарифмируя обе части приведенного выше уравнения, получаем

$$\ln \sigma = \ln \sigma_0 + \frac{E_g}{2k} T^{-1}$$

Если логарифм проводимости $\ln \sigma$ отображается как функция, обратная температуре T^{-1} , то получается линейная зависимость с наклоном, из которого можно определить.

В направлениях тока управления и магнитного поля носители заряда, вызывающие ток в образце, отклоняются к переднему краю образца. Следовательно, если (в n-легированном зонде) электроны являются преобладающими носителями заряда, то передний край становится отрицательным, а при дырочной проводимости в p-легированном образце - положительным.

Материал

Позиция	Материал	Пункт №.	Количество
1	Эффект Холла, основной модуль	11801-01	1
2	Эффект Холла, Ge-полупроводник р-типа, несущая панель	11805-01	1
3	Эффект Холла, Ge-полупроводник п-типа, несущая панель	11802-01	1
4	Программное обеспечение "measureLAB" многократная лицензия	14580-61	1
5	Датчик Холла, тангенциальный, с защитным колпачком	13610-02	1
6	PHYWE Источник питания пост. ток: 0...12 В, 2 А / перемен. ток: 6 В, 12 В, 5 А	13506-93	1
7	Катушка, 600 витков	06514-01	2
8	Железный сердечник, U-образный, пластинчатый	06501-00	1
9	Полюс. наконечники, плоские, 30x30мм, 2 шт.	06489-00	1
10	Треножник	02002-55	1
11	Прямоугольный зажим	02054-00	1
12	Штативный стержень, нерж. ст., l=250 мм, d = 10 mm	02031-00	1
13	Соединительный проводник, 500 мм, красный	07361-01	2
14	Соединительный проводник, 500 мм, синий	07361-04	1
15	Соединительный проводник, 750 мм, черный	07362-05	2

Материал



Позиция	Материал	Пункт №.	Количество
1	Эффект Холла, основной модуль	11801-01	1
2	Эффект Холла, Ge-полупроводник p-типа, несущая панель	11805-01	1
3	Эффект Холла, Ge-полупроводник n-типа, несущая панель	11802-01	1
4	Программное обеспечение "measureLAB" многократная лицензия	14580-61	1
5	Датчик Холла, тангенциальный, с защитным колпачком	13610-02	1
6	PHYWE Источник питания пост. ток: 0...12 В, 2 А / перемен. ток: 6 В, 12 В, 5 А	13506-93	1
7	Катушка, 600 витков	06514-01	2
8	Железный сердечник, U-образный, пластинчатый	06501-00	1
9	Полюс. наконечники, плоские, 30x30мм, 2 шт.	06489-00	1
10	Треножник	02002-55	1
11	Прямоугольный зажим	02054-00	1
12	Штативный стержень, нерж. ст., l=250 мм, d = 10 mm	02031-00	1
13	Соединительный проводник, 500 мм, красный	07361-01	2

PHYWE



Подготовка и выполнение работы

Подготовка (1/4)



Экспериментальная установка

Образец для экспериментов должен быть помещен в модуль эффекта Холла через направляющую канавку. Модуль непосредственно подключается к выходу 12V. \sim источника питания через вход переменного тока на задней стороне модуля.

Пластина должна быть поднесена к магниту очень осторожно, чтобы не повредить кристалл, в частности, избегать сгиба пластины. Она должна находиться в центре между полюсными наконечниками.

Порт USB в нижней части модуля используется для подключения модуля к ноутбуку с помощью кабеля USB.

Подготовка (2/4)



Датчик Холла вставляется в паз в верхней части модуля

Датчик Холла подключается к модулю через порт на передней стороне модуля



Подключение датчика Холла к модулю

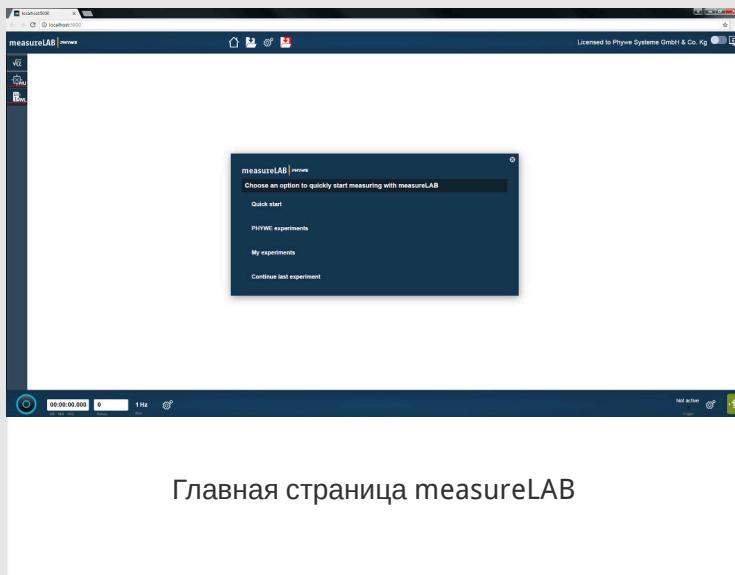
Различные измерения контролируются программным обеспечением measureLAB.

Магнитное поле измеряется с помощью датчика Холла, который подключается к модулю через порт на передней стороне модуля, и может быть направлено в канавку в верхней части модуля, чтобы гарантировать измерение магнитного потока непосредственно на исследуемом образце.

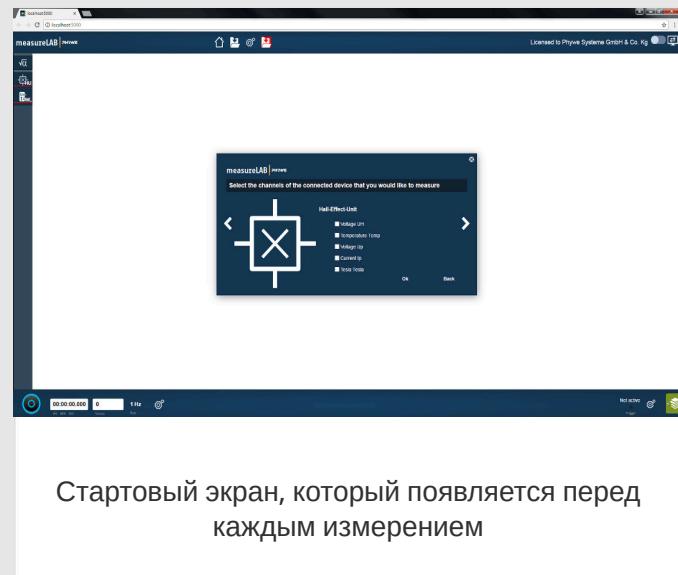
Для начала измерений запустите программное обеспечение measureLAB и выберите на главной странице опцию "Быстрый запуск". Вы получите стартовый экран, который появляется перед каждым измерением.

Подготовка (3/4)

PHYWE



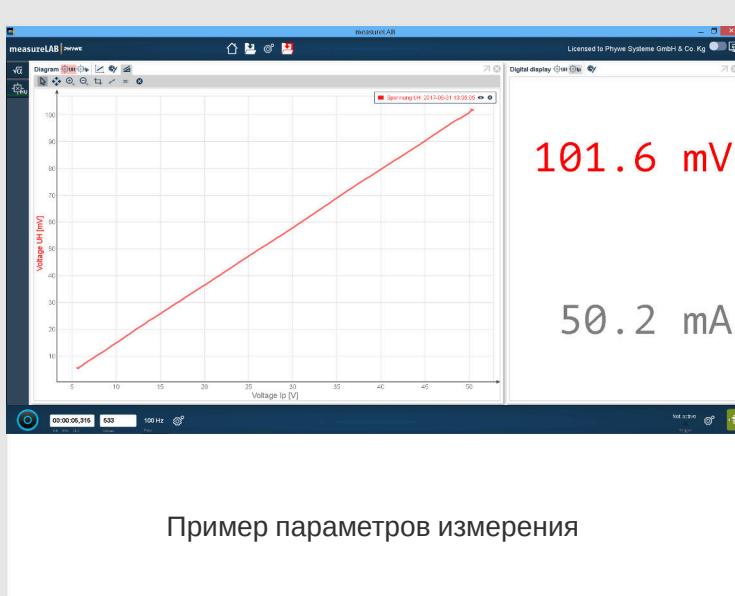
Главная страница measureLAB



Стартовый экран, который появляется перед каждым измерением

Подготовка (4/4)

PHYWE



Пример параметров измерения

Здесь Вы можете выбрать, какие параметры должны быть измерены, смещены и т.д.

Например, выберите напряжение Холла U_H в зависимости от тока I_p и нажмите кнопку "OK", после чего появляется окно с измерением. На этом экране следует начать измерение, нажав на синий нижний элемент в правом нижнем углу экрана.

Измеренные значения отображаются графически на «Диаграмме» и в виде цифровых значений на «Цифровом дисплее»,

Задачи (1/3)



Задача 1:

Выберите напряжение Холла U_H , силу ток I_P и магнитное поле "Тесла" в качестве параметров измерения в стартовом окне и нажмите на "Ok". Установите силу тока и магнитное поле на ноль, а затем откалибруйте напряжение Холла U_H на ноль. Теперь установите магнитное поле на значение 250 мТл, изменяя напряжение и силу тока на источнике питания. Определите напряжение Холла U_H в зависимости от силы тока I_P от -30 мА до 30 мА с шагом 5 мА. В результате Вы получите типичные измерения для n- и p-германия.

Задача 2:

Выберите напряжение образца U_p , силу тока I_P и магнитное поле "Тесла" в качестве параметров измерения в стартовом окне и нажмите на "Ok". Установите силу тока I_P на 30 мА. Определите напряжение образца U_p в зависимости от положительной магнитной индукции B до 300 мТ. Рассчитайте изменение сопротивления образцов по результатам измерений и постройте графики зависимости.

Задачи (2/3)



Задача 3:

Выберите напряжение образца U_p , силу тока и температурный режим "Температура" в качестве параметров измерения из стартового экрана и нажмите на "Ok". В начале установите силу тока I_P на 30 мА. Магнитное поле выключено. Во время измерения ток остается почти постоянным, а напряжение U_p изменяется в зависимости от изменения температуры T . Начните измерение, активировав нагревательную спираль с помощью ручки "Вкл/Выкл" на задней стороне модуля. Образец нагревается до максимальной температуры около 145-150 °C, а затем модуль автоматически прекращает нагревание. Определите кривую охлаждения изменения напряжения U_p в зависимости от изменения температуры T в диапазоне температур от 140°C до комнатной температуры. В результате будут получены типичные кривые.

Задачи (3/3)

Задача 4:

Выберите напряжение Холла U_H , силу тока I_p и магнитное поле "Тесла" в качестве параметров измерения в стартовом окне и нажмите на "Ok". Установить силу тока I_p и магнитное поле на ноль и и откалибруйте напряжение Холла U_H на ноль . Теперь установите силу тока на значение 30 мА. Определите напряжение Холла U_H в зависимости от магнитной индукции B . Начните с -300 мТл, изменения полярность тока катушки на источнике питания и увеличивайте магнитную индукцию с шагом почти 20 мТл. В нулевой точке нужно снова изменить полярность.

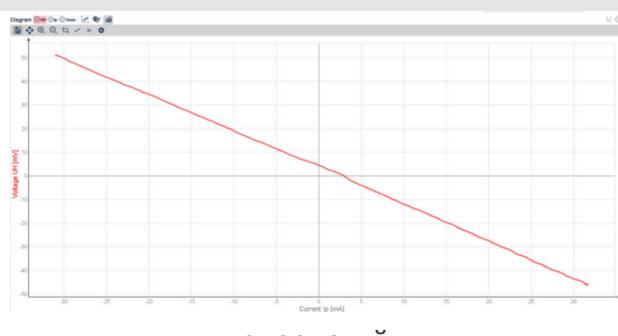
Задача 5:

Выберите напряжение образца U_p , силу тока, температурный режим "Температура" и магнитное поле "Тесла" в качестве параметров измерения из стартового экрана и нажмите на "Ok". Установить силу тока на 30 мА и магнитную индукцию на 300 мТ. Следуя той же процедуре, чтои в задаче 3, определите напряжение Холла. U_H в зависимости от температуры T .

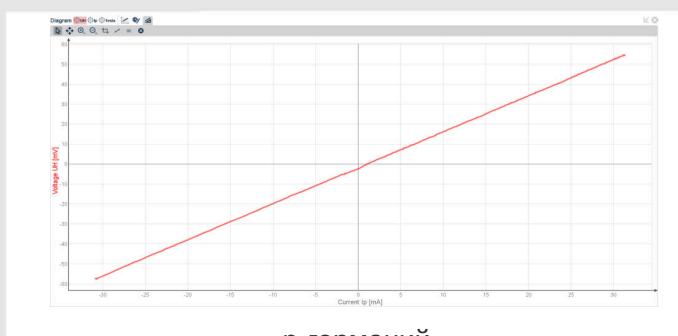
Выполнение работы (1/9)

Задача 1:

Поскольку носители заряда в n- и p-германии различны, тенденция линейной зависимости между U_H и I_p обратная, с $B = 250$ мТл и $T = 300$ К.



n-германий

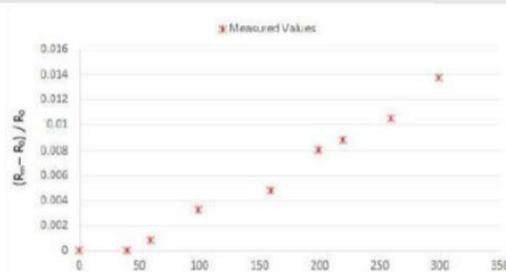


p-германий

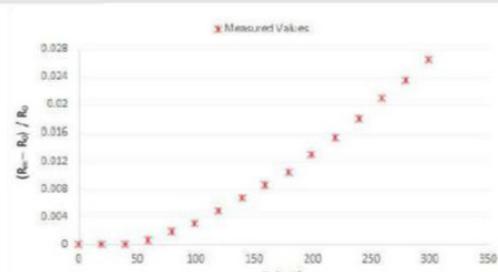
Выполнение работы (2/9)

Задача 2:

Нелинейное изменение сопротивления с увеличением напряженности поля для n- и p-германия при $I_p = 30\text{mA}$ и $T = 300K$



n-германий



p-германий

Выполнение работы (3/9)

Задача 3:

Наклоны линий регрессии равны:

$$b = -\frac{E_g}{2k} = -2.87 \cdot 10^3 \text{ со стандартным отклонением } s_b = \pm 0.3 \cdot 10^3 K \text{ для n-германия, и}$$

$$b = -\frac{E_g}{2k} = -4.18 \cdot 10^3 \text{ со стандартным отклонением } s_b = \pm 0.07 \cdot 10^3 K \text{ для p-германия}$$

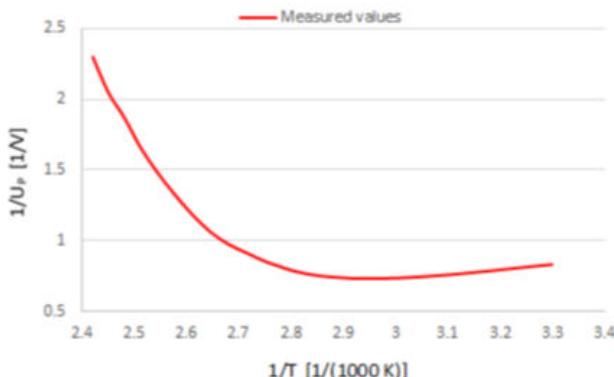
Поскольку $k = 8.625 \cdot 10^{-5} \frac{\text{эВ}}{K}$, мы получаем:

$E_g = b \cdot 2k = (0.05 \pm 0.04) \text{ эВ для n-германия, и } E_g = b \cdot 2k = (0.72 \pm 0.03) \text{ эВ для p-германия.}$

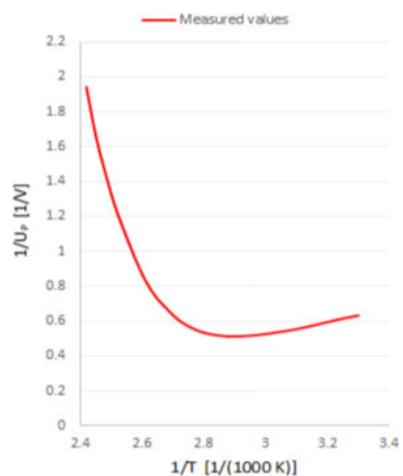
График обратного напряжения образца $1/U_p$, построенный в зависимости от обратной абсолютной температуры $1/T_c$ $I_p = 30\text{mA}$ и отсутствии магнитного потока.

Выполнение работы (4/9)

PHYWE



п-германий



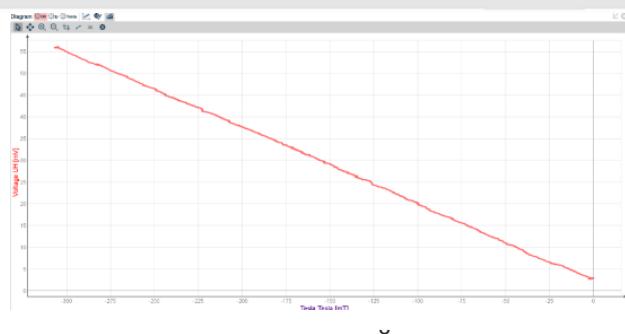
р-германий

Выполнение работы (5/9)

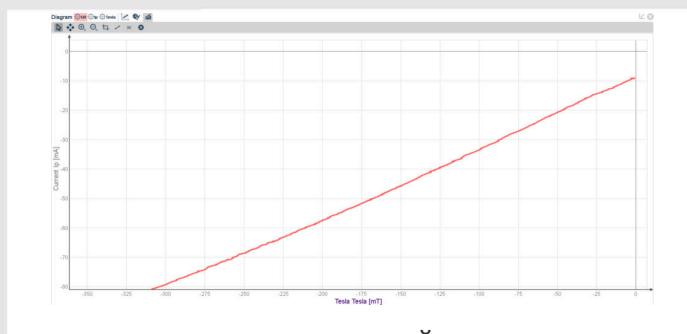
PHYWE

Задача 4:

Линейные соотношения между напряжением Холла U_H и магнитным полем B для п и р - германия



п-германий



р-германий

Выполнение работы (6/9)

PHYWE

При значениях, использованных на рисунках, линия регрессии с формулой $U_H = U_0 + b \cdot B$ имеет наклон $b = 0.144 \text{ ВТл}^{-1}$ со стандартным отклонением $s_b \pm 0.004 \text{ ВТл}^{-1}$ для п-германия и $b = 0.125 \text{ ВТл}^{-1}$ со стандартным отклонением $s_b \pm 0.004 \text{ ВТл}^{-1}$ для р-германия.

Так как толщина образца $d = 1 \text{ мм}$ и $I = 0.030 \text{ А}$, постоянная Холла R_H становится равной:

$$R_H = 4.8 \cdot 10^{-3} \frac{\text{м}^3}{\text{Кл}} \text{ со стандартным отклонением } s_{R_H} = 0.2 \cdot 10^{-3} \frac{\text{м}^3}{\text{Кл}} \text{ для п-германия, и}$$

$$R_H = 4.17 \cdot 10^{-3} \frac{\text{м}^3}{\text{Кл}} \text{ со стандартным отклонением } s_{R_H} = 0.08 \cdot 10^{-3} \frac{\text{м}^3}{\text{Кл}} \text{ для р-германия.}$$

При измеренных значениях $l = 0.02 \text{ м}$, $R = 37.3 \text{ Ом}$ для п-германия, $R = 35.5 \text{ Ом}$ для р-германия, $A = 1 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2$ имеем:

$$\sigma_0 = 53.6 \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{м}^{-1} \text{ для п-германия, и } \sigma_0 = 57.14 \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{м}^{-1} \text{ для р-германия.}$$

Выполнение работы (7/9)

PHYWE

Следовательно

$$\mu_H = 0.257 \pm 0.005 \text{ м}^2/\text{Вс} \text{ для п-германия, и}$$

$$\mu_H = 0.238 \pm 0.005 \text{ м}^2/\text{Вс} \text{ за р-германия.}$$

Используя значение элементарного заряда $e = 1.602 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$, получаем

$$p = 14.9 \cdot 10^{20} \text{ м}^{-3}.$$

Концентрация электронов п-легированного образца определяется выражением $n = \frac{1}{e \cdot R_H}$ следовательно:

$$n = 13.0 \cdot 10^{20} \text{ м}^{-3}.$$

Выполнение работы (8/9)

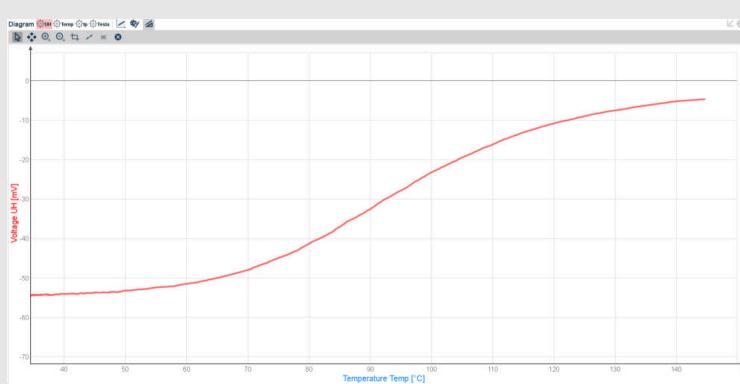
Задача 5:

Напряжение Холла U_H отображается как функция от температуры T при силе тока $I_p = 300 \text{ мA}$ и магнитном поле $B = 300 \text{ мT}$. Графики показывают, что напряжение Холла уменьшается с увеличением температуры как для n-, так и для p-германия.

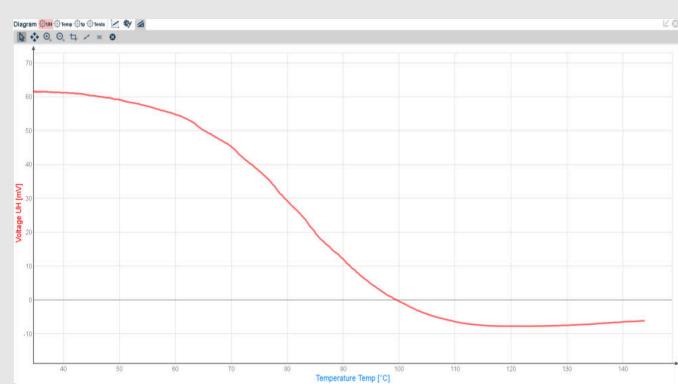
Поскольку эксперимент проводился с постоянным током, можно предположить, что за это отвечает увеличение носителей заряда (переход от внешней проводимости к собственной) с соответствующим уменьшением скорости дрейфа v . (Тот же ток для большего количества носителей заряда означает меньшую скорость дрейфа).

Скорость дрейфа, в свою очередь, связана с напряжением Холла силой Лоренца.

Выполнение работы (9/9)



n-германий



p - германий

Задача 1

PHYWE

Заполните пробелы в тексте:

В результате эксперимента напряжение Холла может быть увеличено за счет
[] силы тока и []. Кроме того, это может
быть достигнуто за счет [] толщины пластины образца, т.е.
пластины с [] несущей способностью.

низкой

увеличения

уменьшения

магнитного поля

Проверить

Задача 2

PHYWE

Коэффициент Холла полупроводника
позволяет определить:

- подвижность носителей заряда
- Теплопроводность
- Тип проводимости и концентрация
носителей заряда

Проверить

Коэффициент Холла для материала
зависит от:

- Плотность носителей заряда
- Температура
- Тип носителей заряда

Проверить