


ЦЕЛЬ ОПЫТА

Определение разделения энергетических зон в германии

КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ

Полупроводники обладают электропроводностью, которую можно измерить только при высоких температурах. Причина этой зависимости от температуры кроется в зонной структуре энергетических уровней электронов, состоящей из зоны проводимости, валентной зоны и промежуточной зоны, которую в чистых, беспримесных полупроводниках электроны вообще не могут занимать. При повышении температуры все больше и больше электронов переходят из валентной зоны в зону проводимости под действием теплового

возбуждения, оставляя после себя «дырки» в валентной зоне. Эти дырки движутся под действием электрического поля так, как если бы они были положительно заряженными частицами, и создают электрический ток так же, как это делают электроны. Чтобы определить проводимость чистого, нелегированного германия, в этом опыте ток постоянной величины пропускается через кристалл и измеряется зависимость падения напряжения от температуры. Результаты измерений с хорошей точностью приближения можно описать экспоненциальной зависимостью, где разделение зон является основным параметром.

ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ ОПЫТА

- Измерение зависимости электрической проводимости нелегированного германия от температуры.

- Определение интервала, разделяющего валентную зону и зону проводимости.

ПРИМЕЧАНИЕ

На практике собственная проводимость чистых, нелегированных полупроводников не имеет большого значения. Как правило, кристаллы имеют примеси, которые отрицательно сказываются на протекании тока. Часто в кристаллы очень высокой степени чистоты специально добавляют атомы донора или акцептора, чтобы сделать их более проводящими. Эффект от такого добавления примесей становится виден, если провести описанные здесь исследования и сравнить германий, легированный донорной и акцепторной примесями. Проводимость кристаллов с примесями при комнатной температуре намного выше, чем проводимость чистых кристаллов, хотя при высоких температурах она приближается к собственной проводимости, см. Рис. 4. Характер зависимости коэффициентов Холла от температуры подробно изучается в опыте UE6020200.

3
НЕОБХОДИМОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

Кол-во	Наименование	№ по каталогу
1	Нелегированный германий на печатной плате	U8487010
1	Базовый аппарат для изучения эффекта Холла	U8487000
1	Тяжелая круглая опора весом 1 кг	U13265
1	Трансформатор с выпрямителем, 3/ 6/ 9/ 12 В, 3 А (230 В, 50/60 Гц)	U33300-230 или
	Трансформатор с выпрямителем, 3/ 6/ 9/ 12 В, 3 А (115 В, 50/60 Гц)	U33300-115
1	Универсальный цифровой измерительный прибор Р3340	U118091
1	Пара безопасных соединительных проводов для опытов длиной 75 см	U13812
1	Пара безопасных соединительных проводов для опытов длиной 75 см, красный/синий	U13816
Дополнительно рекомендуется иметь:		
1	Легированный акцепторной примесью германий на печатной плате	U8487020
	Легированный донорной примесью германий на печатной плате	U8487030
1	Прибор 3B NETlog™ (230 В, 50/60 Гц)	U11300-230 или
	Прибор 3B NETlog™ (115 В, 50/60 Гц)	U11300-115
1	Программное обеспечение 3B NETlab™	U11310

ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ

Электрическая проводимость в значительной степени зависит от природы материала. Поэтому принято классифицировать материалы по их проводимости. Твердые тела, проводимость которых становится заметной и поддающейся измерению только при относительно высоких температурах, называют полупроводниками. Причина этой зависимости от температуры кроется в зонной структуре энергетических уровней электронов, состоящей из зоны проводимости, валентной зоны и промежуточной зоны, которую в чистых, беспримесных полупроводниках электроны вообще не могут занимать.

В основном состоянии валентная зона является наивысшей зоной, которую могут занимать электроны, а зона проводимости - это следующая зона выше, которая не занята. Интервал, разделяющий эти

зоны, обозначается E_g и зависит от самого материала. В случае германия эта величина составляет приблизительно 0,7 эВ. При повышении температуры все больше и больше электронов переходят из валентной зоны в зону проводимости под действием теплового возбуждения, оставляя после себя «дырки» в валентной зоне. Эти дырки движутся под действием электрического поля E так, как если бы они были положительно заряженными частицами, и создают электрический ток так же, как это делают электроны (см. Рис.1).

$$(1) \quad j = \sigma \cdot E$$

σ : электропроводность полупроводникового материала

Электроны и дырки движутся с разными средними скоростями дрейфа:

$$(2) \quad v_n = -\mu_n \cdot E \quad \text{и} \quad v_p = \mu_p \cdot E$$

μ_n : подвижность электронов

μ_p : подвижность дырок

Эта способность проводить ток, которая обусловлена тем, что электроны переходят из валентной зоны в зону проводимости под действием теплового возбуждения, называется собственной проводимостью. В состоянии теплового равновесия количество электронов в зоне проводимости равно количеству дырок в валентной зоне, так что плотность тока в случае собственной проводимости можно записать следующим образом:

$$(3) \quad j_i = -e \cdot n_i \cdot v_n + e \cdot n_i \cdot v_p = e \cdot n_i \cdot (\mu_n + \mu_p) \cdot E ;$$

т.е. собственная проводимость σ равна

$$(4) \quad \sigma_i = e \cdot n_i \cdot (\mu_n + \mu_p) ;$$

Зависимость плотности носителей заряда от температуры n_i для электронов или дырок определяется следующим выражением:

$$(5) \quad n_i = 2 \cdot \left(\frac{2\pi}{h^2} \cdot \sqrt{m_n m_p} \cdot kT \right)^{3/2} \cdot \exp\left(-\frac{E_g}{2kT}\right)$$

$$k = 8,617 \cdot 10^{-5} \frac{\text{eV}}{\text{K}} \quad \text{: постоянная Больцмана}$$

h : постоянная Планка

m_n : эффективная масса электронов

m_p : эффективная масса дырок

T : температура образца

Подвижности μ_n и μ_p также зависят от температуры. В диапазоне температур выше комнатной температуры справедливо следующее:

$$\mu \sim T^{-3/2}$$

Однако основным членом температурной зависимости является экспоненциальное выражение. Это означает, что собственную проводимость при высокой температуре можно выразить в следующем виде:

$$(7) \quad \sigma_i = \sigma_0 \cdot \exp\left(-\frac{E_g}{2kT}\right) ;$$

В этом опыте, чтобы определить проводимость чистого, нелегированного германия, ток постоянной величины I пропускается через кристалл и измеряется зависимость падения напряжения U от температуры. Проводимость σ можно рассчитать по результатам измерения благодаря взаимосвязи

$$(8) \quad U = a \cdot E \quad \text{соотв.} \quad I = b \cdot c \cdot j$$

a, b, c : размеры кристалла

$$(9) \quad \sigma = \frac{I \cdot a}{U \cdot b \cdot c}$$

ОЦЕНОЧНЫЙ РАСЧЕТ

Выражение (7) можно переписать в следующем виде:

$$\ln \sigma = \ln \sigma_0 - E_g \cdot \frac{1}{2kT}$$

Следовательно, можно построить график зависимости $y = \ln \sigma$ от $x = \frac{1}{kT}$ и найти разделение зон E_g по наклону получившейся прямой линии.

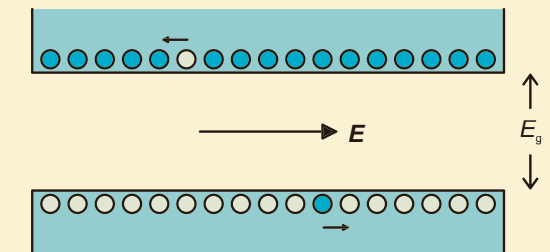


Рис. 1: Структура энергетических зон электронов в полупроводнике, когда один электрон находится в зоне проводимости, а одна дырка - в валентной зоне, при этом оба они испытывают дрейф под действием электрического поля E .

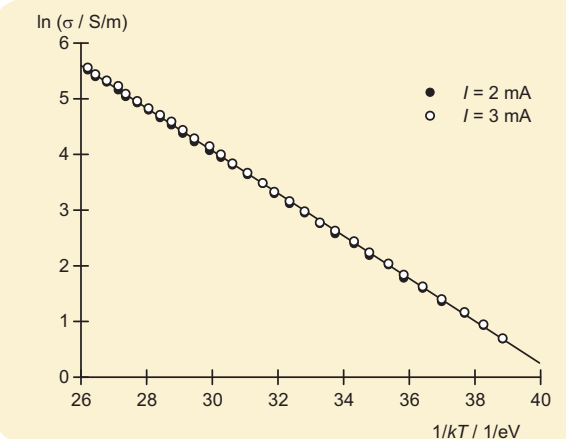


Рис. 3: График для определения разделения зон E_g в германии

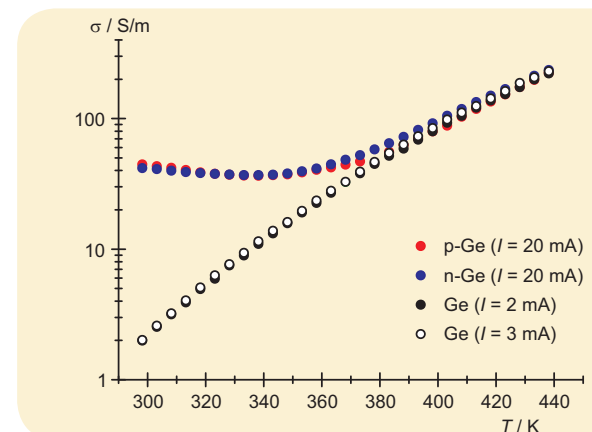


Рис. 4: Сравнение проводимости чистого германия и германия, легированного примесями