

МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

имени М. В. Ломоносова

**Физический факультет
кафедра общей физики и физики конденсированного состояния**

**Методическая разработка
по общему физическому практикуму**

Лаб. работа № 06

ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЙ ВЫПРЯМИТЕЛЬ

Работу поставил доц. Попов Ю. Ф.

Москва - 2012

Подготовил методическое пособие к изданию доц. Авксентьев Ю.И.

ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЙ ВЫПРЯМИТЕЛЬ

Цель работы: изучить работу полупроводникового диода и работу выпрямителя.

1. Контактный слой с односторонней проводимостью

Рассмотрим кратко суть физических явлений, лежащих в основе действия полупроводникового диода. Если в матрицу четырехвалентного германия (Ge^{4+}) добавить в качестве примеси атомы пятивалентного мышьяка (As^{5+}), то образуется сплав в электрическом отношении нейтральный. Однако в месте нахождения атома мышьяка один электрон оказывается лишним, он легко отрывается и становится свободным. Если в Ge^{4+} добавить в качестве примеси атомы трехвалентного индия (In^{3+}), то снова образуется нейтральный сплав, однако в месте нахождения атома индия одна из его электронных оболочек остается свободной и может вступать в химическую связь с электроном. Если осуществить посредством сварки или спайки контакт между этими сплавами, то электроны примесной области $GeAs$, будучи свободными в процессе теплового движения, достигают незаполненных оболочек примесной области $GeIn$ в контактном слое и вступают с ними в связь. Так как при этом электроны покидают первоначально нейтральный $GeAs$ и приходят в первоначально нейтральный $GeIn$, то в приконтактном слое со стороны $GeAs$ образуется положительный заряд, а со стороны $GeIn$ — отрицательный. Между этими зарядами возникает электрическое поле и, так как оно всегда направлено от положительного заряда к отрицательному, это поле препятствует дальнейшему переходу электронов в $GeIn$ и наступает динамическое равновесие зарядов.

Электрическое поле образуется в результате разделения зарядов химическими силами и в месте контакта возникает контактная разность потенциалов, имеющая положительный полюс со стороны $GeAs$ и отрицательный — со стороны $GeIn$ (рис. 1).

Толщина заряженного контактного слоя обычно составляет 10^{-4} - 10^{-5} см. Схематично это показано на рис. 1. Если к граничным участкам сплава с данным контактным слоем приложить напряжение, как показано на рис. 2, то электроны из $GeAs$ будут стремиться к положительному

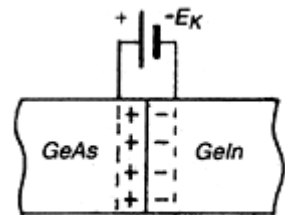


Рис. 1

полюсу ЭДС, а электроны отрицательного полюса ЭДС устремятся к избыточным связям $GeIn$, в результате контактная разность потенциалов возрастет и через контакт тока не будет.

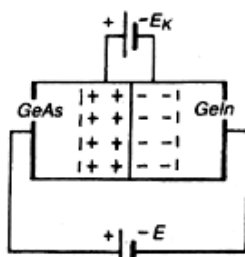


Рис. 2

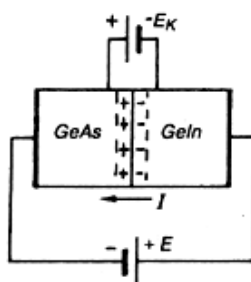


Рис. 3

Если приложить напряжение, как показано на рис. 3, то электроны с отрицательного полюса ЭДС пойдут к положительному полюсу контакта, а с отрицательного полюса контакта электроны пойдут на положительный полюс ЭДС. При этом запирающий слой нейтрализуется, контактная разность E уменьшается и

идет ток I , направление которого показано стрелкой. Зависимость тока I , проходящего через сплав с контактными слоем в зависимости от полярности приложенного напряжения будет иметь вид как на рис.4. Вертикальная прямая на рис.4 обусловлена тем, что при достижении обратным напряжением некоторой критической величины $U_{кр}$ происходит резкое уменьшение сопротивления контактного слоя. Это явление носит название пробоя, $U_{кр}$ - напряжение пробоя.

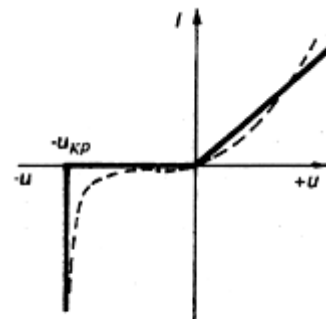


Рис. 4

2. Выпрямление переменного тока

Свойства рассмотренного контактного слоя используются в устройствах для выпрямления переменного тока, называемых полупроводниковыми диодами, обозначаемыми в схемах $\rightarrow|$. При этом диод пропускает ток в направлении, указанном стрелкой, и не пропускает в обратном направлении. Если на диод подать синусоидальное напряжение, то через нагрузку пойдет пульсирующий ток. Способ построения графика временной зависимости тока показан на рис. 5.

Подаваемое напряжение развернуто по оси времени вниз. Ток развернут по оси времени вправо. Кривая тока представляет собой положительную синусоиду.

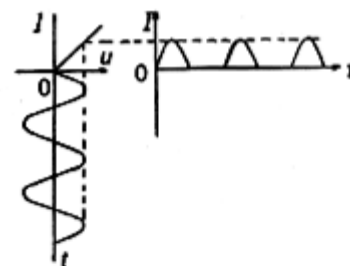


Рис. 5

Однополупериодное выпрямление, рассмотренное выше, на практике применять не выгодно, так как не используется отрицательная полусинусоида.

Поэтому применяется двухполупериодное выпрямление, позволяющее использовать оба полупериода переменного напряжения. Схема двухполупериодного выпрямителя выпрямления показана на рис. 6.

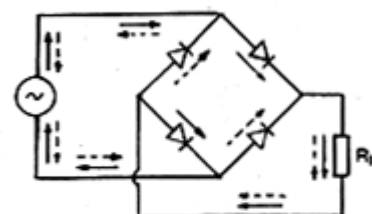


Рис. 6

При положительной полусинусоиде напряжения на входе выпрямителя ток идет по цепи в направлении, указанном сплошными стрелками. При отрицательной полусинусоиде напряжения ток идет в направлении, показанном пунктирными стрелками. Необходимо отметить, что направление тока противоположно направлению перемещения электронов. На рис. 7 показан график изменений переменного напряжения, подаваемого на вход и графики выпрямленного тока при двухполупериодном выпрямлении.

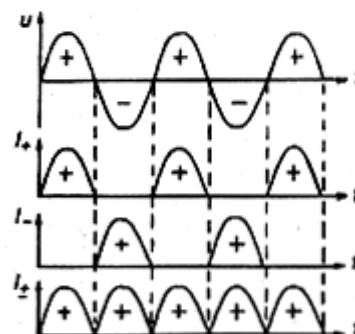


Рис. 7

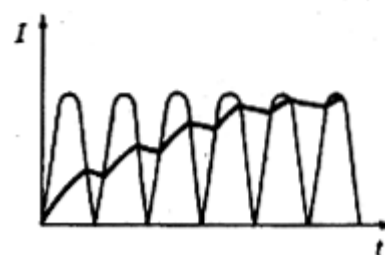


Рис. 8

Во многих случаях выпрямленный ток непригоден для практического использования.

Чтобы ослабить пульсации тока, между выпрямителем и нагрузкой включаются фильтры.

Простейшим фильтром является конденсатор, включенный параллельно нагрузке с сопротивлением R . Подбором номиналов R и C можно добиться положения, при котором выходное напряжение U_C имеет вид, показанный на рис.8 (ломанная кривая).

Установка: макетная схема выпрямителя, осциллограф.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

У п р а ж н е н и е 1 НАБЛЮДЕНИЕ ВОЛЬТАМПЕРНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ ДИОДА

1. Включить макет выпрямителя в сеть. Установить переключатель на макете в положение "Однополупериодный выпрямитель". При этом переменное напряжение от встроенного трансформатора подается в точки схемы 1-3 (см. рис.9).

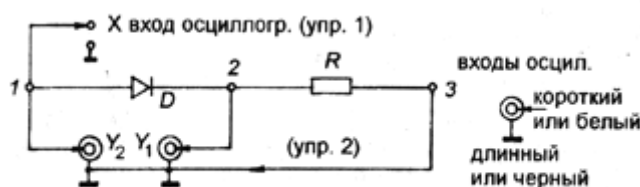


Рис. 9

2. Включить осциллограф, переключить его в режим развертки по "X" от внешнего напряжения (нажать кнопку "X"). При этом луч на экране осциллографа стягивается в точку и ее можно перемещать по экрану осциллографа по вертикали (ручкой вертикального смещения первого канала) и по горизонтали (ручкой вертикального смещения второго канала). Перемещая точку, поместить ее в центре экрана.

3. Подать напряжение с точек 2-3 на Y-вход первого канала осциллографа, как показано на рис. 9, соблюдая порядок подсоединения длинного и короткого концов на кабеле Y_1 .

Отдельным проводом соединить точку 1 с X-входом осциллографа (в правом нижнем углу). При таком включении развертка по горизонтали обеспечивается напряжением между точками 1-3, а вертикальное смещение - напряжением на резисторе R (точки 2-3). Зарисовать и объяснить наблюдаемую на экране картину.

Упражнение 2

НАБЛЮДЕНИЕ ВЫПРЯМЛЯЮЩЕГО ДЕЙСТВИЯ ДИОДА

Переключить осциллограф в режим внутренней развертки (кнопка "Синхронизация внутренняя I", кнопку "X" отжать). Включить кнопку совместной работы обоих каналов "...". С точки 1 напряжение подать на Y-ВХОД второго канала осциллографа.

При этом луч второго канала будет воспроизводить переменное напряжение в точках 1-3 $U_{1-3}(t)$, а луч первого канала - напряжение на резисторе $U_R(t)$. Зарисовать и объяснить наблюдаемую картину.

Упражнение 3

РАБОТА ДВУХПОЛУПЕРИОДНОГО ВЫПРЯМИТЕЛЯ

1. Перевести переключатель на макете в положение "Двух-полупериодный выпрямитель". При этом переменное напряжение с трансформатора поступает в точки 4-7 (см. рис.10).

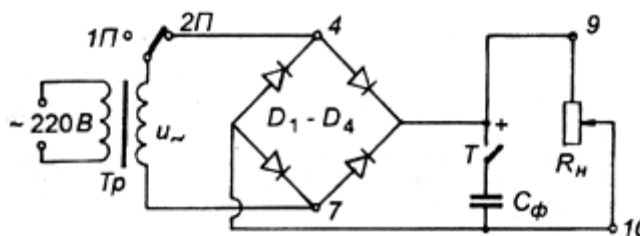


Рис.10

2. Данная схема и применяемый осциллограф не позволяют одновременно

наблюдать два напряжения в точках 4-7 и 9-10, так как при этом заземленным проводом шунтируется одно плечо диодного моста. Поэтому на первый (или второй) канал осциллографа подается напряжение со входа выпрямителя (точки 4-7). Чувствительность осциллографа по этому каналу устанавливается 2-5 В. Наблюдаемая картина зарисовывается. Затем на тот же канал подается напряжение с выхода выпрямителя R_H (точки 9-10) при отключенном конденсаторе C_ϕ . Зарисовать наблюдаемую картину под предыдущим графиком, принимая за начало отсчета времени начало наблюдаемых картин.

3. Включить C_ϕ и наблюдать изменение картины на экране.

Зарисовать наблюдаемую картину под предыдущими двумя графиками. Разобраться, что откладывается по оси ординат, а что — по оси абсцисс. Объяснить наблюдаемые графики и их отличие от графиков, наблюдаемых в упражнении 2.

**КРАТКАЯ ИНФОРМАЦИЯ
О РАСПОЛОЖЕНИИ И ФУНКЦИОНАЛЬНОМ НАЗНАЧЕНИИ
ОРГАНОВ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРИБОРОВ,
ИСПОЛЬЗУЕМЫХ В ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТАХ**

1. Универсальный прибор — вольтамперомметр (рис. 1)

1. Гнездо для подключения щупа (красного) при измерении U и R .
2. Гнездо для подключения щупа (красного) при измерении I .
3. Гнездо для подключения черного щупа (заземление).
4. Включение прибора.
5. Измерение постоянных величин U, I, R — кнопка отжата (=), измерение переменных величин U, I — кнопка нажата.
6. Переключение рода работы: вольтметр — U , амперметр — I , омметр — R .
7. Предел измерений $200\text{ мВ}, \text{мкА}, \text{Ом}$ в зависимости от рода работы.
8. Пределы измерений $2, 20, 200, 2000, \text{В}; \text{мА}; \text{кОм}$ в зависимости от рода работы.
9. Световое табло.
10. Подсветка светового табло.

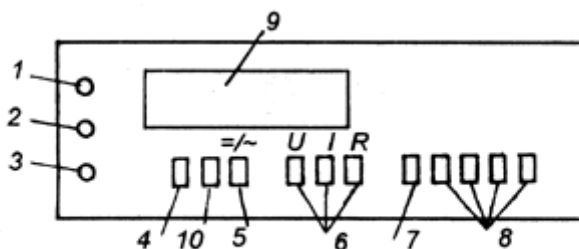


Рис. 1

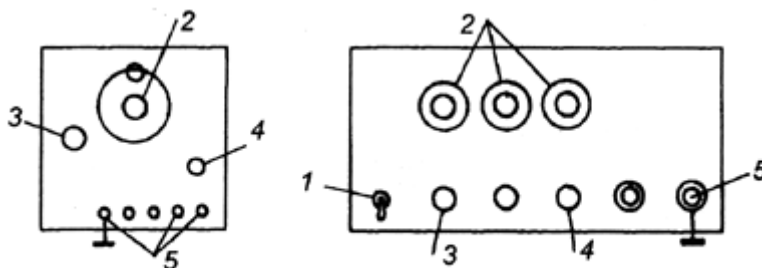


Рис. 2

2. Генератор переменного напряжения (рис. 2 а, б)

1. Включение прибора (для ГЗ-III включение вилки в сетевую розетку).
2. Декадные переключатели частоты (ГЗ-118), плавная установка частоты (ГЗ-III).

3. Переключатель "*Множитель*"; значение частоты, установленное ручками 2, надо умножить на коэффициент, на который указывает штрих на ручке.
 4. Регулятор выходного напряжения
- Гнезда, с которых снимается выходное напряжение переменной частоты.

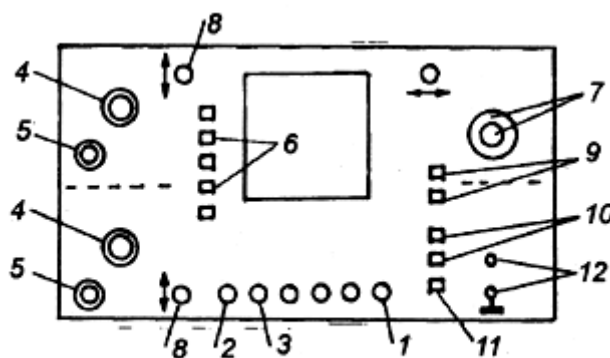


Рис. 3

3. Осциллограф (рис. 3)

1. Включение осциллографа.
2. Управление яркостью свечения лучей.
3. Фокусировка лучей.
4. Ступенчатое переключение чувствительности каналов осциллографа (В/см, мВ/см). Плавная регулировка усиления не используется (ручки в крайнем положении по часовой стрелке).
5. Входные гнезда каналов осциллографа.
6. Кнопки включения одновременной работы обоих каналов.
7. Ступенчатое переключение частоты горизонтальной развертки. В центре — ручка плавной подстройки частоты развертки, — используется для стабилизации изображения на экране.
8. Ручки вертикального смещения лучей.
9. Кнопки включения внутренней синхронизации развертки от 1 и 2 каналов.
10. Кнопки включения внешней синхронизации развертки.
11. Кнопка переключения осциллографа для работы в X-Y-режиме, когда требуется наблюдение одного сигнала как функции, зависящей от другого.
12. Вход внешнего сигнала, обеспечивающего горизонтальную развертку в X-Y-режиме.

Контрольные вопросы

1. Объяснить свойства p-n перехода.
2. Какова вольт-амперная характеристика диода?
3. Что такое пробой диода?

4. Где p- и где n-область на схематическом изображении диода?
5. Как работает однополупериодный выпрямитель?
6. Как работает двухполупериодный выпрямитель?
7. Как работает электрический фильтр выпрямителя?

ЛИТЕРАТУРА

Савельев И.В. Курс общей физики: Учебное пособие. Кн. "Квантовая оптика. Атомная физика. Физика твердого тела. Физика атомного ядра и элементарных частиц." Издание 4-е. Москва. Наука. Физматлит. 1998.

Глава 8. Электропроводность металлов и полупроводников.

8.6. Электропроводность полупроводников.

Глава 9. Контактные и термоэлектрические явления.

9.3. Контактная разность потенциалов.

9.5. Полупроводниковые диоды и триоды.