

НАБОР ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЙ НПП-2

П А С П О Р Т

Настоящий паспорт является инструкцией и руководством по эксплуатации набора полупроводникового НПП-2.

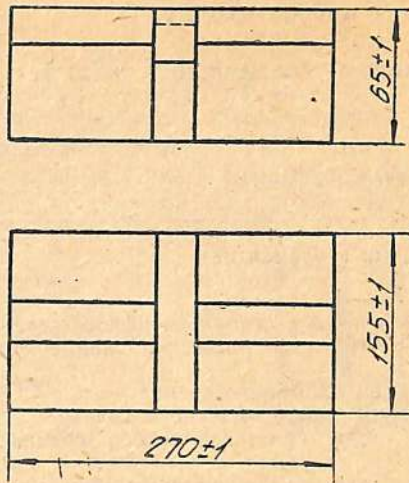
1. ТЕХНИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ

1.1. Назначение набора

1.1.1. Набор полупроводниковый НПП-2 предназначен для демонстрации основных электрических свойств полупроводниковых материалов и полупроводниковых систем с р-п переходом. Он позволяет демонстрировать:

а) зависимость электропроводности полупроводниковых материалов от:

- температуры;
- освещения;
- механических деформаций;
- структуры;
- примесей;



Черт. 1

1.2. Состав набора

1.2.1. Набор размещен в специальной коробке. Внутри коробка разделена на отдельные секции, предназначенные для размещения в

1.2.2. В комплект набора входят:

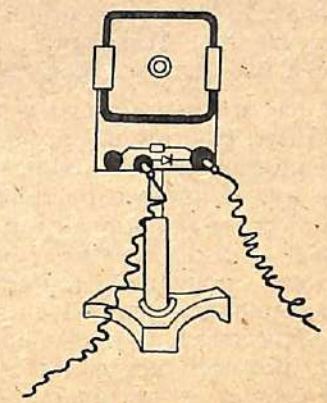
- а) паспорт;
- б) детали, элементы, указанные в табл. 1.

Таблица 1

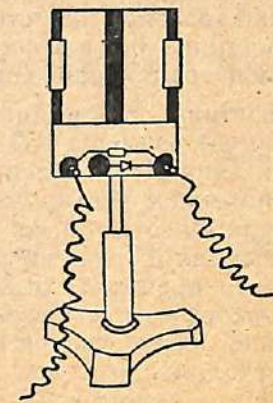
Наименование	Обозначение	Количество шт.
Панель (держатель пластин и элементов)		1
Пластина-изолятор		1
Пластина-проводник		1
Пластина алюминиевая с открытым слоем аморфного селена	ОА	1
Пластина алюминиевая с открытым слоем кристаллического селена	ОК	1
Пластина с закрытым слоем аморфного селена	ЭОА	1
Пластина с закрытым слоем кристаллического селена	ЭОК	1
Пластина с закрытым слоем кристаллического селена с галлоидами.	ЭОКГ	1
Пластина изоляционная с открытым слоем кристаллического селена с металлическими контактами	ПИ	2
Элемент выпрямительный (диод) серии „А“	В2	2
Элемент выпрямительный (диод) серии „Г“	Д2	2
Провод соединительный, имеющий на концах однополюсные вилки		5
Зажим лабораторный		5
Вилка однополюсная		5

1.3. Устройство, назначение деталей набора

1.3.1. Панель (держатель пластин и элементов) (черт. 2а и 2б) предназначена для закрепления и подключения в электрическую цепь демонстрационных пластин набора. Панель изготовлена из изоляционного материала. На лицевой стороне укреплены специальные контактные устройства и клеммы для включения пластин в электрическую цепь. Панель имеет приспособление в виде винта и упру-



Черт. 2а



Черт. 2б.

гой пластины, позволяющие прикладывать механическое усилие к демонстрируемой пластине. Величина усилия регулируется с помощью винта. Панель снабжена металлическим стержнем, с помощью которого укрепляется в подставке.

На черт. 2а показана панель с селеновым элементом (диодом); на черт. 2б — панель с образцом открытого слоя кристаллического селена с металлическими контактами.

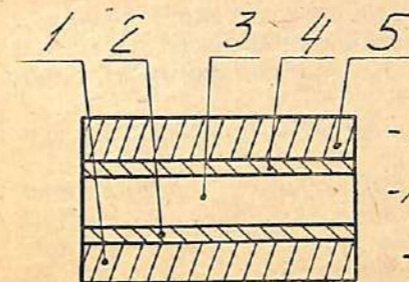
1.3.2. Пластины-изоляторы и проводник имеют размеры 100×100 мм, изготовлены из стеклотекстолита толщиной 1,5 мм и алюминия толщиной 0,8 мм соответственно. Пластины предназначены для демонстрации проводимости изолятора и металла.

1.3.3. Пластина алюминиевая с открытым слоем аморфного селена (ОА) имеет размеры 100×100 мм. Конструкция образца представляет слой аморфного селена толщиной 60 мк, нанесенный термическим испарением в вакууме на алюминиевую подложку, на которую предварительно, тем же методом, наносили слой висмута. Толщина алюминия 0,8 мм, висмута — 3 мк. Висмут используется для образования прочного омического контакта алюминий-висмут-селен. Аморфный селен имеет зеркально-черный цвет, он хрупкий как стекло, боится ударов и увлажнения, при температуре 70°C начинает кристаллизироваться. Не рекомендуется касаться его поверхности руками. Аморфный слой селена — разновидность стеклообразного полупроводника, — предназначен для демонстрации его

внешнего вида. Подобные пластины используются в электрографии, т. к. аморфный селен фоточувствительный.

1.3.4. Пластина алюминиевая с открытым слоем кристаллического селена (ОК) имеет ту же конструкцию и технологию изготовления, что и аморфный селен, только селен здесь закристаллизован при температуре от 100 до 200°C . Он серого цвета, поверхность его шероховата. Разница в структуре поверхности аморфного и поликристаллического селена хорошо заметна уже при увеличении в 50 раз. Пластина предназначена для демонстрации внешнего вида поликристаллического селена.

1.3.5. Пластина с закрытым слоем аморфного селена (ЭОА) имеет размеры 100×100 мм.



Черт. 3

- 1 — алюминий, толщина 0,8 мм
- 2 — висмут, толщина 3 мк
- 3 — селен аморфный, толщина 60 мк
- 4 — висмут, толщина 3 мк
- 5 — фольга алюминиевая, толщина 0,12 мм

- металл

- полупроводник

- металл

Конструкция пластины в разрезе, без соблюдения масштабных размеров, показана на черт. 3.

Конструкция пластины с закрытым слоем аморфного селена отличается от пластины с открытым слоем селена тем, что к слою селена припрессован под давлением верхний электрод — висмутированная алюминиевая фольга.

Пластина предназначена для демонстрации изоляционных свойств аморфных полупроводниковых материалов.

1.3.6. Пластина с закрытым слоем кристаллического селена (ЭОК) отличается от пластины с закрытым слоем аморфного селена тем, что селен здесь кристаллический.

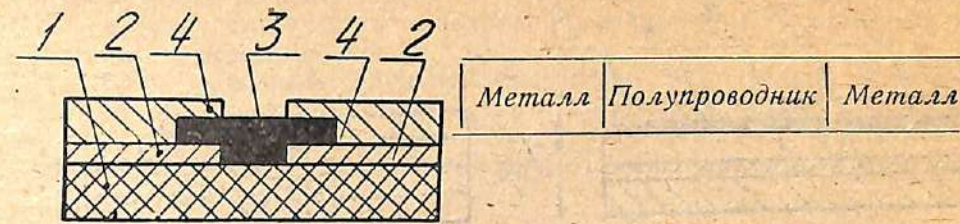
Пластина предназначена для демонстрации свойств полупроводниковых материалов от их структуры.

1.3.7. Пластина с закрытым слоем кристаллического селена с галлоидами (ЭОКГ) отличается от пластины (ЭОК) тем, что селен здесь насыщен примесями, значительно увеличивающими электропроводность селена.

Пластина предназначена для изучения роли примесей в полупроводниках.

1.3.8. Пластина изоляционная с открытым слоем кристаллического селена (ПИ) предназначена для демонстрации объемных свойств полупроводника (селена) в зависимости от внешних факторов: температуры, освещенности, механических воздействий.

Конструкция пластины в разрезе показана на черт. 4.

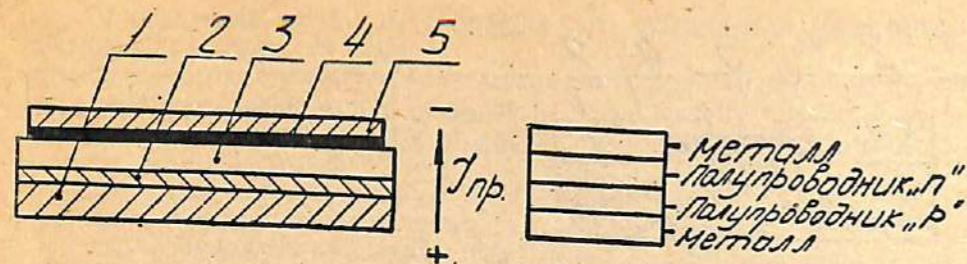


- 1 — стеклотекстолит
- 2 — висмут
- 3 — селен
- 4 — сплав кадмий-олово

Черт. 4

1.3.9. Селеновый диод (элемент) серии «А» имеет размеры 100×100 мм. Конструкция диода в разрезе изображена на черт. 5, где 1 — алюминий толщиной 0,8 мм, он же анод; 2 — слой висмута толщиной 3 мк, служащий для образования надежного омического контакта;

3 — кристаллический селен, легированный примесями для получения оптимальной электропроводности дырочного полупроводника, толщина слоя 60 мк; 4 — слой серы толщиной 1 мк; 5 — сплав олова с кадмием толщиной 40 мк, служащий верхним катодным электродом.



- 1 — алюминий
- 2 — висмут
- 3 — селен
- 4 — сплав кадмий-олово

Черт. 5

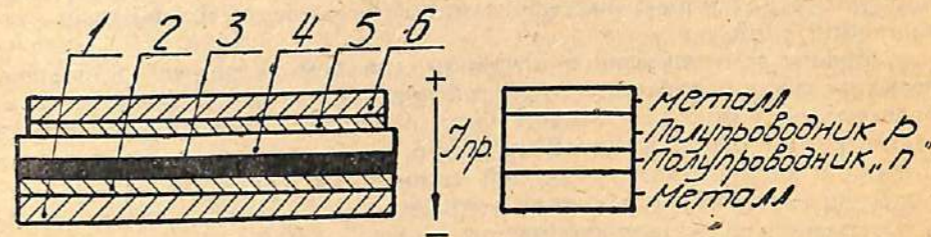
Технологические особенности изготовления диодов таковы, что кадмий и сера реагируют между собой и образуют сульфид кадмия — полупроводник с электронной проводимостью.

Таким образом, система из селена «Р» — полупроводник и сульфида кадмия «П» — полупроводник, контактируя между собой образуют запирающий слой с вентильными свойствами.

Образец предназначен для демонстрации свойств электронно-дырочного р-п перехода: односторонней проводимости, особенностей

вольтамперной характеристики полупроводникового диода, влияние на характеристику внешних факторов (температуры, механического воздействия, освещенности и т. д.).

1.3.10. Селеновый диод (элемент) серии «Г» имеет размеры 100×100 мм. Конструктивная особенность диода в разрезе показана на черт. 6, где 1 — алюминий толщиной 0,8 мм, служит основанием и катодом; 2 — слой кадмия толщиной 23 мк, нанесенный методом



- 1 — алюминий
- 2 — кадмий
- 3 — запирающий слой
- 4 — селен
- 5 — висмут
- 6 — фольга алюминиевая

Черт. 6

катодного распыления; 4 — кристаллический селен, легированный хлором для получения слоя р — полупроводника с оптической электропроводностью, толщина слоя 60 мк; 5 — висмут толщиной 2—5 мк; 6 — алюминиевая фольга толщиной 0,12 мм служит верхним анодным электродом.

Диоды этой серии характерны тем, что П — полупроводник образуется за счет реакции между селеном и кадмием. Образовавшийся слой селенида кадмия полупроводника электронного типа контактирует с дырочным полупроводником — селеном и образует запирающий слой.

Образец применяется в основном для демонстрации непосредственного преобразования лучистой энергии в электрическую, т. е. образования фото-э.д.с. Может быть с успехом использован и для демонстрации основных свойств диода, его вольтамперной характеристики и зависимости последней от внешних факторов.

Диод серии «Г» с частично вскрытым слоем нежелательно сильно увлажнять, т. к. гальванические процессы, образующиеся на омическом переходе селен—висмут—алюминиевая фольга могут привести к полному отслаиванию фольги, а также к порче электроизмерительных приборов в цепи с диодами.

2. ИНСТРУКЦИЯ ПО ЭКСПЛУАТАЦИИ

2.1. Подготовка набора к работе

2.1.1. До начала эксплуатации произведите внешний осмотр набора. Внимательно ознакомьтесь с настоящим паспортом.

2.1.2. Подберите необходимые измерительные приборы, источник питания, соединительные шнуры и другие детали в зависимости от выполняемой работы.

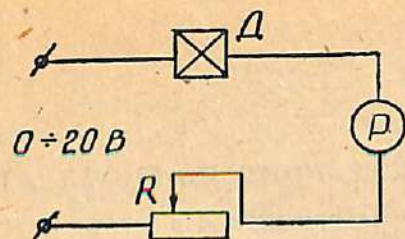
2.2. Порядок работы

2.2.1. Соберите рабочую схему согласно полученному заданию и проведите соответствующую демонстрацию или исследование.

2.3. Примеры демонстрационных опытов

2.3.1. Основные свойства полупроводниковых материалов.

Опыт 1. Проводимость металлов, изоляторов и полупроводников. Соберите схему черт. 7, где Р — демонстрационный школьный гальванометр, чувствительный по току, R — реостат ползунковый на 1100 Ом, ограничивающий ток, Д — держатель (панель).



Черт. 7

В держатель поочередно закрепляют пластины из металла, диэлектрика и образец с открытым слоем кристаллического селена с металлическими контактами (ПИ) или пластину (ЭОК). Включение пластин в электрическую цепь позволяет по показаниям гальванометра определить разницу в электропроводности трех различных материалов. Ввиду резкого отличия по величине электропроводности необходимо регулировать напряжение реостатом.

Опыт. 2. Зависимость сопротивления полупроводников от температуры.

Пластину изоляционную с открытым слоем кристаллического селена с металлическими контактами (ПИ) закрепляют в держателе и включают в электрическую цепь по схеме черт. 7. Нагревают пластину над электрической плиткой или другим источником тепла со стороны противоположной слою селена. При нагревании наблюдают

увеличение тока в цепи, что указывает на уменьшение сопротивления полупроводникового материала. Прекращают нагревание и наблюдают уменьшение тока в цепи, что указывает на увеличение сопротивления полупроводника с понижением температуры.

Необходимо обратить внимание учащихся на то, что такое изменение сопротивления является **характерной особенностью полупроводников.**

Имея данные электрической цепи и размеры образца, легко можно вычислить удельное сопротивление полупроводника.

Используя возможности для измерения температуры, опыт может быть расширен до заданий лабораторного практикума: исследование зависимости электропроводности от температуры и определение энергии активации.

Примечание. Во избежание расплавления слоя селена не рекомендуется нагревать пластину выше 150°C . Если же кристаллический селен расплавится и частично превратится в аморфный, что можно заметить по появившимся черным блестящим пятнам, то пластину можно восстановить медленной кристаллизацией в термостате при температуре $116-120^{\circ}\text{C}$ в течение 2—3 часов.

Опыт 3. Зависимость сопротивления полупроводников от освещенности демонстрируют по схеме черт. 7 на той же установке, что и в опыте 2.

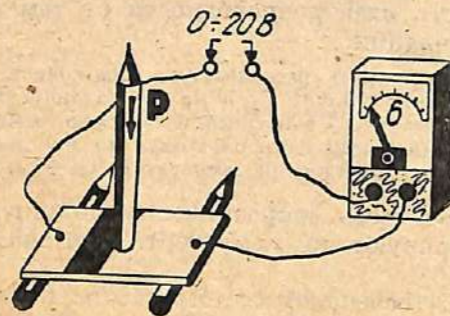
Пластину (ПИ) освещают светом лампы и наблюдают увеличение тока в цепи. Отменяют зависимость сопротивления полупроводника от освещенности.

Необходимо учесть, что длительность освещения ведёт к тепловому эффекту. Источник света можно включать и выключать, приближать и удалять от пластины, перекрывать светонепроницаемой пластиной или различными фильтрами.

Опыт 4. Зависимость сопротивления полупроводников от механических воздействий демонстрируется на установке, электрическая схема которой изображена на черт. 7.

Специальным винтом в держателе прогибают пластину (ПИ) и наблюдают изменение тока в цепи.

Сопротивление полупроводника меняется от степени прогиба пластины. Наблюдаемый эффект носит название тензоэффекта.



Черт. 8

Пластину можно подвергать механическим воздействиям и вне держателя (черт. 8).

Опыт 5. Зависимость сопротивления полупроводника от примесей.

Для демонстрации опыта в электрическую цепь по схеме черт. 7 поочерёдно включают образцы кристаллического селена вначале чистого (ЭОК), затем легированного примесями (ЭОКГ).

На опыте убеждаются, что сопротивление чистого полупроводника больше, чем примесного.

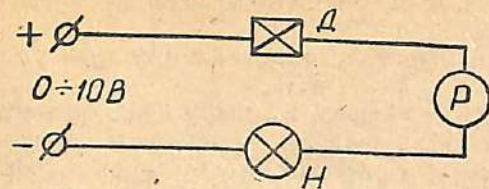
Обращают внимание учащихся на то, что рассмотренные свойства полупроводников лежат в основе изготовления соответствующих приборов: терморезисторов, тензодатчиков, фоторезисторов, анализаторов и т. д. Но так как различные материалы по-разному реагируют на внешние факторы, то для соответствующих приборов подбираются материалы с оптимальными характеристиками.

2.3.2. Основные свойства электронно-дырочного перехода.

Основой экспериментальных опытов, определяющих свойства электронно-дырочного перехода, являются селеновые диоды (элементы) размером 100×100 мм.

Опыт 6. Односторонняя проводимость электронно-дырочного перехода демонстрируется по схеме черт. 9.

Для демонстрации опыта диод закрепляют в держателе и включают в электрическую цепь с последовательно включённым гальванометром и лампочкой накаливания.



Д — держатель, в котором закреплен селеновый диод (элемент)
 Р — демонстрационный школьный гальванометр
 Н — лампочка накалывания

Черт. 9

На вход цепи подают постоянное напряжение до 10 В и включают диод в разных направлениях, по показанию гальванометра и свечению лампочки убеждаются, что ток в цепи идёт лишь в одном направлении.

Зная полярность подводимого напряжения, определяют полярность диодов серии «А» и серии «Г». В первом случае прямое направление будет тогда, когда плюс источника подключён к основанию, а минус — к верхнему электроду. У селеновых диодов серии «Г» полярность обратная полярности диодов серии «А».

Опыт 7. Прямой и обратный токи диода следует замерять, пользуясь схемой черт. 7. Демонстрационный амперметр должен быть включен в качестве гальванометра, чувствительного по току.

Включая диод в прямом и обратном направлениях или меняя полярность подводимого напряжения, фиксируют величину прямого и обратного токов диода. Зная величину подводимого напряжения, прямой и обратный токи, определяют сопротивления в прямом и обратном направлениях.

Опыт 8. Зависимость обратного тока диода от внешних факторов демонстрируется по схеме черт. 7. На включенный в электрическую цепь и закреплённый в держателе селеновый диод подают обратное напряжение. Отмечают малый ток в цепи (обратный ток диода). Затем на диод последовательно действуют различными внешними факторами: освещают, нагревают, деформируют. Каждый раз отмечают увеличение обратного тока, что объясняется увеличением количества неосновных носителей.

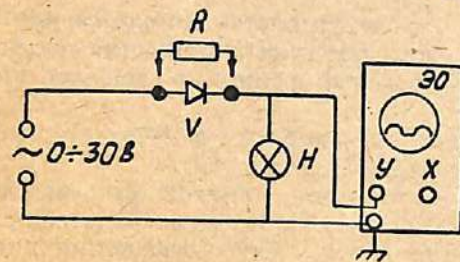
Учащимся следует показать, что любая система с одним или более р-п переходом обладает свойством изменять количество неосновных носителей от внешних факторов возбуждения в той или иной мере.

Опыт 9. Преобразование лучистой энергии в электрическую можно показать, используя схему черт. 7.

Селеновый диод серии «Г» с частично снятой алюминиевой фольгой укрепляют в держателе и подключают непосредственно к гальванометру с соблюдением полярности. При освещении диода отмечают отклонение стрелки гальванометра, что свидетельствует о появлении фото-э.д.с. Используя цветные фильтры, можно определить

спектральную чувствительность селена. При наличии соответствующей аппаратуры этот опыт, по максимуму спектральной характеристики, позволяет определить энергию отрыва электрона, т. е. ширину запрещенной зоны селена.

Опыт 10. Образование термо-э.д.с. на диоде можно наблюдать при образовании температурного градиента, перпендикулярного переходу. Селеновый диод предварительно нагревают (со стороны алюминиевого основания) над плиткой, устанавливают в держателе и подключают непосредственно к демонстрационному гальванометру. На поверхность диода ставят охлаждающее тело (тонкостенный стакан с холодной водой или охлажденный металлический брусок). По отклонению стрелки гальванометра отмечают термо-э.д.с.



- R — резистор
- V — диод
- H — лампочка накаливания
- ЭО — электронный осциллограф

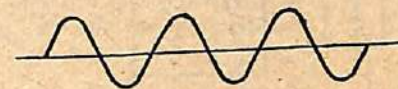
Черт. 10

Так как температурный градиент в сравнительно тонкой системе создать затруднительно, данный опыт можно отнести к дополнительным.

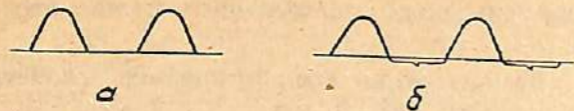
Опыт 11. Демонстрация выпрямляющих свойств диода на осциллографе.

Собирают электрическую цепь по схеме черт. 10.

При включении в схему резистора R форма кривых входного напряжения и тока в цепи не отличаются друг от друга. В обоих случаях наблюдается синусоида. При замене резистора диодом V осциллограмма тока на экране имеет форму положительной или отрицательной полуволны синусоиды в зависимости от полярности диода. С увеличением подводимого к диоду напряжения будет заметна и отрицательная полуволна синусоиды, характеризующая обратный ток, т. е. ток утечки (черт 11б).



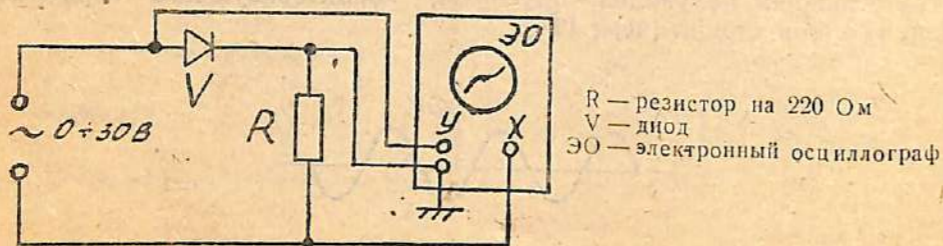
Осциллограмма переменного тока



Осциллограмма однополупериодного выпрямления переменного тока:
 а) без наличия обратного тока;
 б) при наличии обратного тока.

Черт. 11

Опыт 12. Осциллограмма вольтамперной характеристики диода может быть продемонстрирована с помощью схемы, изображенной на черт. 12.



Черт. 12

- R — резистор на 220 Ом
- V — диод
- ЭО — электронный осциллограф

Опыт проводится при включенном генераторе развертки осциллографа:

Загиб обратной ветви характеристики является током утечки диода.

Следует обращать внимание учащихся на то, что характер выпрямленного напряжения и наличие обратной полуволны зависит от качества селенового выпрямителя, т. е. формы вольтамперной характеристики при малых и более высоких напряжениях.

Опыт 13. Обнаружение тока Ценера.

Для демонстрации используется установка опыта 12. Увеличивая входное напряжение, демонстрируют заметный загиб обратной ветви вольтамперной характеристики диода, что свидетельствует о быстром росте обратного тока диода.

Дальнейшее, совсем малое увеличение обратного напряжения вызывает значительное увеличение обратного тока. Этот ток называют током Ценера. Напряжение, при котором резко возрастает обратный ток, называется пробивным. Дальнейшее увеличение ведет к пробое диода (для селенового диода это не опасно до определенных размеров, т. к. он обладает свойством самовосстановления).

Обращают внимание учащихся на то, что рассмотренные свойства р-п переходов лежат в основе использования их для определенных назначений и изготовления соответствующих приборов: фотодиодов, фотоэлементов, измерителей давления, температуры и других физических величин.

Характерное изменение тока позволяет использовать их в схемах стабилизации и ограничения напряжения и тока.

Все вышеописанные опыты не охватывают всех возможностей набора.

По усмотрению учителя опыты могут быть изменены и расширены или могут быть разработаны в процессе лабораторных работ другие формы физического практикума.

2.4. Транспортирование и хранение

2.4.1. Наборы, упакованные в ящики, допускают транспортирование их любым видом крытого транспорта на любые расстояния.

2.4.2. Набор следует хранить в закрытом виде, в сухом месте при температуре не ниже 10°C.

2.4.3. Набор требует бережного отношения. Детали должны быть уложены в предназначенные для них ячейки. Выпрямительные диоды и пластины не следует гнуть, бросать, перегревать и подвергать воздействию влаги.

2.5. Гарантийные обязательства

2.5.1. Срок гарантии устанавливается 12 месяцев со дня продажи, но не более 18 месяцев со дня отгрузки.

2.5.2. Завод-изготовитель обязан производить безвозмездную поставку новых наборов или возмещать их стоимость (согласно действующим прейскурантам), если в течение гарантийного срока будет установлено несоответствие набора техническим условиям при соблюдении потребителем правил эксплуатации, транспортирования и хранения.

2.5.3. Претензии без предъявления настоящего паспорта рассматриваться не будут.

2.6. Свидетельство о приемке

2.6.1. Набор полупроводниковый НПП-2 соответствует техническим условиям 11 МО. 081. 009 ТУ и признан годным для эксплуатации.

Контролер ОТК



" 20 28 1 " 19 г.

г. Йошкар-Ола, 424003, завод полупроводниковых приборов.

