

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение
высшего профессионального образования
«Томский государственный университет систем управления и
радиоэлектроники»

Кафедра электронных приборов

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ СТАБИЛИТРОНОВ

Методические указания к лабораторной работе
для студентов специальности
210601.65 - Радиоэлектронные системы и комплексы

2014

Арестов, Сергей Иннокентьевич
Шангин, Александр Сергеевич

Исследование полупроводниковых стабилитронов: методические указания к лабораторной работе для студентов специальности 210601.65 - Радиоэлектронные системы и комплексы / С.И. Арестов, А.С. Шангин; Министерство образования и науки Российской Федерации, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, Кафедра электронных приборов. - Томск: ТУСУР, 2014. - 15 с.

Целью настоящей работы является закрепление теоретических знаний студентами. В работе исследуются прямые и обратные характеристики полупроводникового стабилитрона при комнатной и повышенной температурах. Исследуется область стабилизации диода, измеряются дифференциальные сопротивления стабилитрона в области стабилизации, а также на прямой ветви вольт-амперной характеристик, Вычисляется температурный коэффициент напряжения и коэффициент стабилизации.

Пособие предназначено для студентов специальности 210601.65 - Радиоэлектронные системы и комплексы по дисциплине «Электроника 2. Электронные приборы»

© Арестов Сергей Иннокентьевич, 2014
© Шангин Александр Сергеевич, 2014

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Томский государственный университет систем управления и
радиоэлектроники»

Кафедра электронных приборов

УТВЕРЖДАЮ
Зав. кафедрой ЭП
_____ С.М. Шандаров
« ___ » _____ 2014 г.

ИССЛЕДОВАНИЕ
ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ СТАБИЛИТРОНОВ

Методические указания к лабораторной работе
для студентов специальности 210601.65 - Радиоэлектронные системы и
комплексы

Разработчик
_____ С.И. Арестов
_____ А.С. Шангин
_____ 2014 г

Содержание

1 Введение.....	5
2 Теоретическая часть.....	5
2.1 Общие сведения о полупроводниковых стабилитронах	5
2.2 Вольт-амперная характеристика стабилитрона.....	6
2.3 Физические процессы в стабилитроне	7
2.4 Параметры стабилитрона.....	8
2.5 Схема включения стабилитрона.....	9
2.6 Контрольные вопросы.....	10
3 Экспериментальная часть.....	10
3.1 Задание.....	10
3.2 Перечень приборов, применяемых при исследовании	10
3.3 Описание лабораторного стенда	11
3.4 Снятие характеристик	11
3.5 Методические указания	12
3.6 Исследование области стабилизации	12
3.7 Измерение дифференциального сопротивления	13
3.8 Содержание отчета	14
4 Рекомендуемая литература	14

1 Введение

Целью настоящей работы является закрепление теоретических знаний студентами. В работе исследуются прямые и обратные характеристики полупроводникового стабилитрона при комнатной и повышенной температурах. Исследуется область стабилизации диода, измеряются дифференциальные сопротивления стабилитрона в области стабилизации, а также на прямой ветви вольт-амперной характеристик. Вычисляется температурный коэффициент напряжения и коэффициент стабилизации.

В ходе выполнения работы у студентов формируется:

- готовность учитывать современные тенденции развития электроники, измерительной и вычислительной техники, информационных технологий в своей профессиональной деятельности (ПК-3);
- способность разрабатывать структурные и функциональные схемы радиоэлектронных систем и комплексов, а также принципиальные схемы радиоэлектронных устройств (ПК-9);
- способность участвовать в наладке, испытаниях и сдаче в эксплуатацию опытных образцов радиоэлектронных устройств и систем (ПК-13);

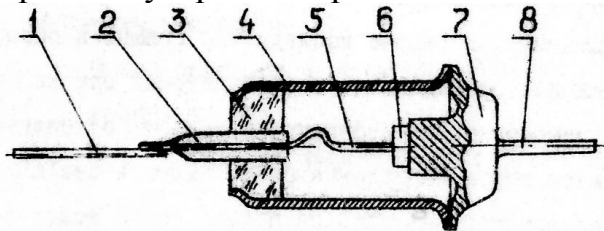
2 Теоретическая часть

2.1 Общие сведения о полупроводниковых стабилитронах

Полупроводниковые стабилитроны широко применяются в различной аппаратуре для стабилизации напряжения. В настоящее время стабилитроны изготавливают из кремния n-типа, обеспечивающего небольшой обратный ток в предпробойной области, а также высокую допустимую температуру p-n перехода. Германий для изготовления стабилитрона не используется, так как у германиевых диодов большой обратный ток.

Прецизионные стабилитроны называют также опорными диодами.

На рис. 2.1 изображено устройство кремниевого стабилитрона.



1, 8 - внешние выводы; 2 - трубка; 3 - изолятор; 4 - корпус; 5 - внутренний вывод; 6 - кристалл; 7 - кристаллодержатель

Рисунок 2.1 – Устройство кремниевого стабилитрона

Стабилитроны изготавливаются в герметичном металлическом сварном корпусе со стеклянным изолятором и гибкими или жесткими выводами

По назначению стабилитроны делятся на три группы:

- 1) стабилитроны общего назначения;
- 2) термокомпенсированные прецизионные;
- 3) импульсные.

Полупроводниковые стабилитроны изготавливают, как правило, сплавной технологией (примерно 90 %).

2.2 Вольт-амперная характеристика стабилитрона

При рассмотрении физических процессов в стабилитроне интересует связь между током и приложенным напряжением, т. е. его вольт-амперная характеристика. Как известно, вольт-амперная характеристика полупроводникового диода описывается уравнением

$$I = I_0 \left(e^{\frac{qU}{KT}} - 1 \right) \quad (2.1)$$

где I - ток через диод;

I_0 - ток насыщения;

q - заряд электрона;

U - напряжение, приложенное к диоду;

K - постоянная Больцмана;

T - абсолютная температура.

Прямая ветвь вольт-амперной характеристики стабилитрона подобна прямой ветви характеристики обычного диода. Постоянное прямое напряжение при токах, больших 1 мА, составляет 0,7 - 0,8 В.

В обратном направлении ток при малых напряжениях через диод равен току насыщения I_0 , поскольку при отрицательном напряжении экспоненциальным членом можно пренебречь. При больших обратных напряжениях наблюдается резкий перелом в характеристике, который объясняется пробоем р - n - перехода. Обратный ток не подчиняется уравнению (2.1), а резко увеличивается с ростом напряжения. На рис. 2.2 показана вольт-амперная характеристика стабилитрона.

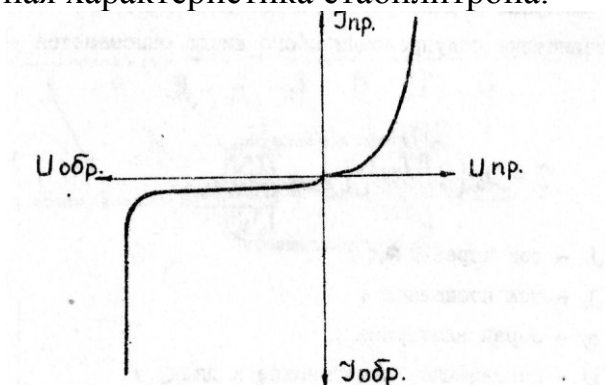


Рисунок 2.2 – Вольт-амперная характеристика стабилитрона

2.3 Физические процессы в стабилитроне

Нормальным режимом работы полупроводникового стабилитрона является режим с обратным включением р-п- перехода, рабочим напряжением - напряжением пробоя перехода, а рабочим участком характеристики - обратная ветвь вольт-амперной характеристики перехода. Напряжение, при котором наступает пробой перехода, зависит от рода материала, его удельного сопротивления и типа перехода.

Различают два основных вида пробоя р - п - перехода: электрический и тепловой. В обоих случаях резкий рост тока связан с увеличением числа носителей заряда в переходе. При электрическом пробое число носителей заряда в переходе возрастает под действием сильного электрического поля и ударной ионизации атомов решетки, при тепловом пробое - за счет термической ионизации атомов. В кремниевых стабилитронах имеет место электрический пробой. Различают два вида электрического пробоя р-п - перехода - лавинный и туннельный. Механизм пробоя зависит от ширины перехода, которая в свою очередь определяется степенью легирования полупроводникового материала.

При достаточно широких р-п - переходах имеет место лавинообразное размножение носителей в результате ударной ионизации. Свободные носители заряда - электроны и дырки, - разгоняясь в поле, могут набрать энергию, достаточную ударной ионизации полупроводника - разрыва валентных связей. В результате разрыва валентной связи появляется пара свободных носителей заряда - электрон в зоне проводимости и дырка в валентной зоне. Эти носители заряда могут набрать энергию, большую энергии ионизации, что приводит к образованию еще двух электронно-дырочных пар и т.д. Лавинное размножение носителей заряда учитывается коэффициентом умножения M , который показывает, во сколько раз возрастает ток по сравнению с первичным током I_0 . Коэффициент лавинного умножения определяется по формуле:

$$M = \frac{1}{1 - \left(\frac{U}{U_{np}}\right)^n}, \quad (2.2)$$

где M - коэффициент умножения;

n - показатель степени, зависящий от напряжения пробоя;

U - напряжение, приложенное к диоду;

U_{np} - напряжение пробоя.

Лавинный пробой происходит при некоторой критической напряженности электрического поля

$$U_{np} = \frac{\varepsilon \cdot \varepsilon_0 \cdot E_{KP}}{2qN^*}, \quad (2.3)$$

где $U_{пр}$ - напряжение пробоя;
 ε - диэлектрическая проницаемость;
 ε_0 - диэлектрическая проницаемость вакуума;
 $E_{кр}$ - критическая напряженность электрического поля;
 q - заряд электрона;
 N^* - приведенная концентрация примеси.

Следовательно, напряжение лавинного пробоя обратно пропорционально концентрации примеси. Для увеличения напряжения пробоя уменьшают концентрацию легирующей примеси.

При больших напряженностях электрического поля (порядка 200 кВ/см) возможен туннельный пробой, обусловленный прямым переходом электронов из валентной зоны в зону проводимости смежной области, происходящим без изменения энергии электрона. Величина напряженности поля и ширина перехода определяются степенью легирования полупроводника. Напряжение туннельного пробоя всегда меньше 5 В.

При увеличении температуры напряжение пробоя снижается.

При электрическом пробое практически в той или иной степени могут иметь место одновременно оба механизма: туннельный и лавинный.

2.4 Параметры стабилитрона

Основными электрическими параметрами полупроводниковых стабилитронов являются:

- 1) напряжение стабилизации - $U_{ст}$;
- 2) максимальный ток стабилизации - $I_{ст. min}$;
- 3) максимальный ток стабилизации - $I_{ст. max}$;
- 4) дифференциальное сопротивление - $r_{ст}$;
- 5) допустимая рассеиваемая мощность - P_{max} ;
- 6) температурный коэффициент напряжения - $\alpha_{ст}$;
- 7) барьерная емкость - $C_{б}$.

Напряжение стабилизации $U_{ст}$ является напряжением пробоя р-п-перехода. Значение зависит от концентрации примесей и для разных типов стабилитронов составляет от 4 до 200 В и обычно определяется для среднего значения тока.

Дифференциальное сопротивление стабилитрона определяется на рабочем участке характеристики как отношение приращения напряжения стабилизации к соответствующему приращению тока стабилизации

$$r_{ст} = \frac{dU_{ст}}{dI_{ст}}, \quad (2.4)$$

где $r_{ст}$ - дифференциальное сопротивление;
 $dU_{ст}$ - изменение напряжения стабилизации;
 $dI_{ст}$ - изменение тока через стабилитрон.

Значение r_{cm} разных типов стабилитронов колеблется в широких пределах - от десятых долей до сотен ом.

Температурный коэффициент напряжения стабилизации величина, характеризующая относительное изменение напряжение на стабилитроне при изменении температуры на один градус:

$$\alpha_{cm} = \frac{dU_{cm}}{U_{cm} \cdot dT}, \quad (2.5)$$

где α_{cm} - температурный коэффициент напряжения;

dU_{cm} - изменение напряжения стабилизации;

U_{cm} - напряжение стабилизации;

dT - изменение температуры.

α_{cm} может быть как положительным, так и отрицательным в зависимости от характера электрического пробоя. У низковольтных стабилитронов α_{cm} отрицателен. Такая зависимость характерна для переходов с туннельным пробоем. У стабилитронов с лавинным механизмом пробоя α_{cm} положителен.

2.5 Схема включения стабилитрона

Простейшая схема включения стабилитрона показана на рис. 2.3. Стабилитрон включают параллельно нагрузке, а в неразветвленную часть включают балластное сопротивление.

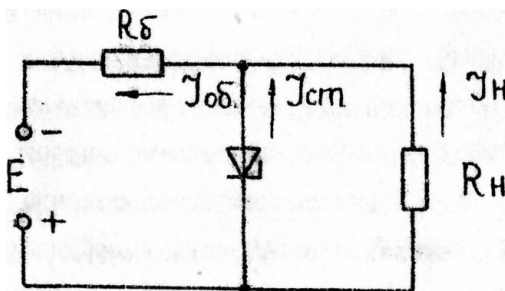


Рисунок 2.3 - Схема включения стабилитрона

Обычно стабилитрон работает в таком режиме, когда напряжение источника нестабильно, а сопротивление нагрузки постоянно. Для установления и поддержания правильного режима стабилизации балластное сопротивление должно быть вполне определенным. Его рассчитывают для средней точки характеристика стабилитрона.

Эффективность стабилизации напряжения характеризуется коэффициентом стабилизации, который показывает, во сколько раз относительное изменение напряжения на выходе схемы стабилизации меньше, чем относительное изменение напряжения на входе

$$K_{ст} = \frac{\Delta E / E}{\Delta U_{ст} / U_{ст}}, \quad (2.6)$$

где $K_{ст}$ - коэффициент стабилизации;
 ΔE - изменение входного напряжения;
 E - напряжение источника питания;
 $\Delta U_{ст}$ - изменение напряжения стабилизации;
 $U_{ст}$ - напряжение стабилизации.

2.6 Контрольные вопросы

1. Какие виды пробоев используются в стабилитронах?
2. Почему для изготовления стабилитронов используется кремний, а не германий ?
3. Нарисуйте характеристику стабилитрона.
4. Назовите основные параметры стабилитрона.
5. Какие физические процессы определяют форму характеристики на разных участках?
6. Что такое температурный коэффициент напряжения стабилизации?
7. Каким образом можно уменьшить температурный коэффициент напряжения стабилитронов?
8. Нарисуйте схему включения стабилитрона.
9. Объясните принцип стабилизации напряжения стабилитроном.
10. Что такое коэффициент стабилизации?

3 Экспериментальная часть

3.1 Задание

1. Ознакомиться с устройством и принципом действия стабилитрона, изучить параметры.
2. Ознакомиться со стендом и аппаратурой для снятия характеристик стабилитрона.
3. Записать паспортные данные исследуемого прибора.
4. Снять прямую характеристику прибора при комнатной температуре, а также при повышенной температуре.
5. Снять обратные характеристики прибора при комнатной температуре и при повышенной температуре.
6. Измерить дифференциальное сопротивление стабилитрона в режиме стабилизации.
7. Исследовать область стабилизации при различных температурах.

3.2 Перечень приборов, применяемых при исследовании

Для выполнения лабораторной работы рабочее место оснащено следующими приборами:

- 1) лабораторный стенд;
- 2) звуковой генератор;
- 3) милливольтметр.

3.3 Описание лабораторного стенда

Лабораторный стенд предназначен для исследования опорных диодов. Стенд позволяет снимать прямые и обратные характеристики при комнатной температуре и при 60 0С, исследовать область стабилизации, измерять дифференциальные сопротивления диода в области стабилизации, а также прямое дифференциальное сопротивление. Общий вид стенда показан на рис. 3.1.

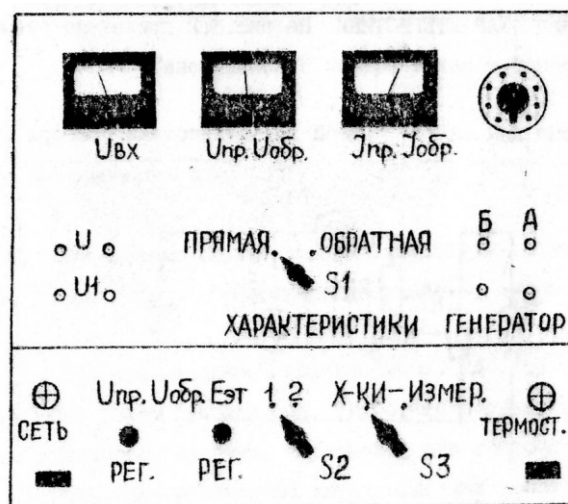


Рисунок 3.1 - Общий вид стенда

Стенд выполнен в виде пульта и содержит две панели, на которых смонтированы измерительные приборы, переключатели, потенциометры для регулировки напряжений, панель для включения стабилитрона, гнезда для подключения генератора и милливольтметра, кнопки включения стенда и термостата.

Электрическая схема стенда содержит три регулируемых источника постоянного напряжения (Unp, Uобр, Eэт.).

3.4 Снятие характеристик

Для снятия прямой характеристики переключатель S1 (см. рис.3.1) устанавливается в положение ПРЯМАЯ, переключатель S2 - в положение I, а переключатель S3 в положение ХАРАКТЕРИСТИКИ. На рис. 3.2 приведена схема для снятия прямой характеристики стабилитрона.

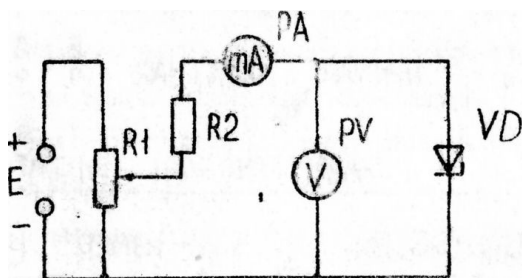


Рисунок 3.2 - Схема для снятия прямой характеристики прибора

Для снятия обратной характеристики переключатель S1 (см. рис. 3.1) устанавливается в положение ОБРАТНАЯ, переключатель S2 - в положение I, а переключатель S3 - в положение ХАРАКТЕРИСТИКА. Измерение обратного напряжения и тока через стабилитрон осуществляется теми же измерительными приборами, но с другим пределом измерений для вольтметра.

Схема для снятия обратной характеристики приведена на рис. 3.3.

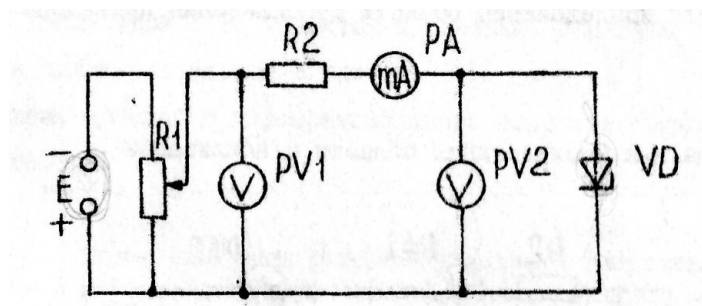


Рисунок 3.3 - Схема для снятия обратной характеристики

3.5 Методические указания

1. При снятии характеристик стабилитрона необходимо следить, чтобы токи не превосходили предельно допустимых значений.
2. При снятии прямых характеристик удобнее задавать величину тока через стабилитрон. Для этого в схеме последовательно с прибором включено ограничивающее сопротивление.
3. При снятии обратной характеристики необходимо отмечать величину входного напряжения.

3.6 Исследование области стабилизации

Для исследования области стабилизации необходимо милливольтметр постоянного тока подключить к гнездам А и Б (см. рис.3.1). Потенциометром Uобр установить напряжение на стабилитроне равное напряжению стабилизации для данного стабилитрона.

Затем потенциометром $E_{\text{эт}}$ добиться нулевого показания милливольтметра, увеличивая ток через стабилитрон, снять зависимость $\Delta U_{\text{ст}} = f(I_{\text{ст}})$ при комнатной температуре и при 60 0С.

Схема для исследования области стабилизации приведена на рис.3.4.

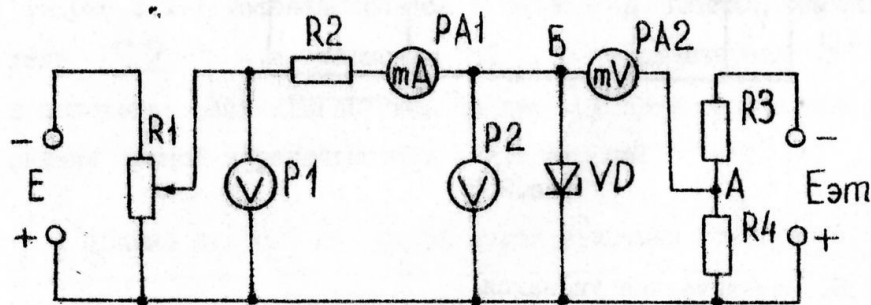


Рисунок 3.4 - Схема для исследования области стабилизации

Переключатель S2 установить в положение «2», при этом к схеме подключаются два стабилитрона, включенных на встречу друг другу. Снять зависимость $\Delta U_{\text{ст}} = f(I_{\text{ст}})$ для двух стабилитронов.

Так как изменения напряжения стабилизации в области стабилизации невелика, для измерения напряжения $\Delta U_{\text{ст}}$ используется компенсационный метод (см. рис. 3.4). Изменения напряжения стабилизации $\Delta U_{\text{ст}}$ отсчитываются по милливольтметру.

3.7 Измерение дифференциального сопротивления

Измерение дифференциального сопротивления производится на переменном напряжении. Напряжение звуковой частоты 1 кГц с амплитудой 1 В подается к гнездам ГЕНЕРАТОР, а измеряется милливольтметром в гнездах U и U1 (см. рис.3.1). Схема измерения дифференциального сопротивления приведена на рис.3.5.

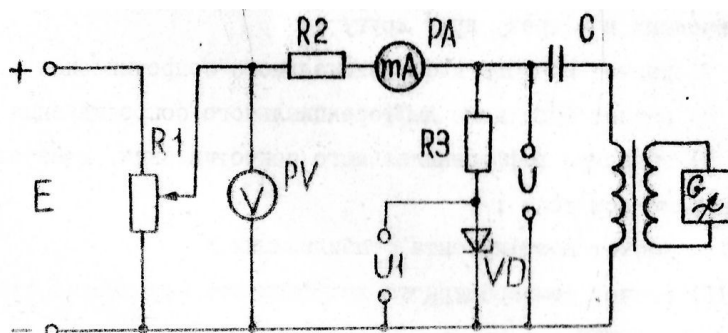


Рисунок 3.5 - Схема измерения дифференциального сопротивления

Вычисление дифференциального сопротивления производится по формуле

$$r_{cm} = \frac{U_1}{U - U_1} \cdot R_3, \quad (3.1)$$

где r_{cm} - дифференциальное сопротивление;
 R_3 - измерительное сопротивление, 20 Ом;
 U_1 - напряжение в гнезде « U_1 »;
 U - напряжение в гнезде « U ».

3.8 Содержание отчета

Отчет должен содержать:

- 1) паспортные параметры исследуемого прибора;
- 2) схемы испытания стабилитрона;
- 3) прямые характеристики опорного диода;
- 4) обратные характеристики с указанием напряжения стабилизации;
- 5) характеристики области стабилизации диода;
- 6) характеристики области стабилизации двух стабилитронов, включенных навстречу друг другу;
- 7) расчет прямого дифференциального сопротивления;
- 8) расчет обратного дифференциального сопротивления;
- 9) значения дифференциального сопротивления, измеренное на переменном токе;
- 10) расчет коэффициента стабилизации;
- 11) расчет температурного коэффициента напряжения стабилизации (ТКН);
- 12) выводы по работе.

4 Рекомендуемая литература

1. Микросхемотехника и наноэлектроника / А.Н. Игнатов. – СПб, 2011 – 528 с. ISBN 978-5-8114-1161-0 http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_cid=25&pl1_id=2035
2. Электротехника и электроника / Ермуратский П.В., Лычкина Г.П., Минкин Ю.Б. – М.: ДМК Пресс, 2011. – 417 с ISBN 978-5-94074-688-1 http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_cid=25&pl1_id=908
3. Полупроводниковые приборы : учебное пособие / В. В. Пасынков, Л. К. Чиркин. - 8-е изд., испр. - СПб. : Лань, 2006. - 478[2] с. : ил. - (Учебники для вузов. Специальная литература). - Предм. указ.: с. 468-474. - ISBN 5-8114-0368-2
4. Основы микроэлектроники : Учебное пособие для вузов / И. П. Степаненко. - 2-е изд., перераб. и доп. - М. : Лаборатория Базовых Знаний, 2004. - 488 с. : ил. - (Технический университет). - Библиогр.: с. 419. -Предм. указ.: с. 488. - ISBN 5-93208-045-0

Учебное пособие

Арестов С.И., Шангин А.С.

Исследование полупроводниковых стабилитронов

Методические указания к лабораторной работе

Усл. печ. л. _____ Препринт
Томский государственный университет
систем управления и радиоэлектроники
634050, г.Томск, пр.Ленина, 40