

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКТ ДОКУМЕНТОВ ДЛЯ СТУДЕНТОВ ЗАОЧНОЙ ФОРМЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ «ТВЕРДОТЕЛЬНАЯ ЭЛЕКТРОНИКА»

ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

Цели и задачи дисциплины

1. Изучение основных физических процессов в твердотельных приборах, а также их характеристик и параметров.
2. Формирование навыков использования твердотельных приборов в электронной аппаратуре.

Требования к уровню освоения дисциплины

В результате изучения дисциплины студенты должны:

1. Знать физические процессы, происходящие в твердотельных приборах, основные характеристики и параметры приборов и области их применения;
2. Уметь производить обоснованный выбор типа твердотельных приборов для конкретных практических применений, рассчитывать и исследовать режимы их использования, пользоваться стандартной терминологией;
3. Иметь представление о проблемах, стоящих перед твердотельной электроникой, о перспективах ее развития.

Содержание программы

Введение

Предмет, структура и содержание курса, связь с другими дисциплинами учебного плана. Краткая характеристика уровня развития твердотельной электроники.

Тема 1. Поверхностные и контактные явления в твердых телах

Обедненные и обогащенные поверхностные слои. Инверсия типа электропроводности. Быстрые и медленные поверхностные состояния, поверхностная проводимость. Поверхностная рекомбинация. (Л1: 1.13, 1.14, 1.15).

Электронно-дырочный переход. Инжекция и экстракция носителей заряда. Резкий и плавный переходы. ВАХ. Барьерная и диффузионная емкости. Пробой электронно-дырочного перехода. (Л1: 2.1, 2.2, 2.4, 2.5, 2.6, 2.7, 2.8, 3.8, 3.11, 3.12, 3.13).

Омические переходы Требования к омическим переходам. Омические переходы между полупроводниками и на контакте металл -полупроводник. (Л1: 2.9, 2.10).

Выпрямляющие переходы металл-полупроводник. Барьер Шоттки. (Л1: 2.10).

Гетеропереходы. Энергетические диаграммы. Основные свойства. (Л1: 2.11).

Тема 2. Полупроводниковые диоды

Структура диода. ВАХ. Генерация и рекомбинация носителей, механизмы пробоя. Выпрямительные диоды. Импульсные диоды, диоды Шоттки. Стабилитроны, стабилитроны. Туннельные диоды, варикапы. Конструктивные особенности и параметры диодов. (Л1: 3.1, 3.2, 3.3, 3.4, 3.5, 3.7, 3.8, 3.10, 3.11, 3.12, 3.13, 3.19, 3.19, 3.21, 3.22, 3.25, 3.26, 3.29, 3.31).

Тема 3. Биполярные транзисторы

Структура и основные режимы работы биполярных транзисторов (БТ). Схемы включения. Токораспределение. Идеализированная модель БТ. Статические параметры БТ. Статические характеристики и малосигнальные параметры, эквивалентные схемы, частотные свойства, конструкции (Л1: 4.1, 4.2, 4.3, 4.4, 4.6, 4.8, 4.10, 4.11, 4.12, 4.13, 4.14, 4.17).

Тема 4. Тиристоры

Структура и принцип действия динистора. Тринисторы. Способы включения и выключения. Разновидности тиристорных структур. (Л.1: 5.1, 5.3, 5.4, 5.5).

Тема 5. Полевые транзисторы и приборы с зарядовой связью

Полевые транзисторы (ПТ) с управляемым p - n -переходом. Идеализированная модель. Статические характеристики и параметры. (Л.1: 6.1, 6.2, 6.3, 6.4).

МДП- транзисторы с индуцированным и со встроенным каналом. Статические характеристики и параметры. (Л.1: 6.5, 6.6, 6.7).

Структура и принцип действия приборов с зарядовой связью (ПЗС). Перенос информационного заряда. Параметры и применение ПЗС. (Л.1: 6.8, 6.9).

Тема 6. Шумы твердотельных приборов

Основные источники шумов. Шумовые параметры. Методы снижения шумов. (Л.1: 3.27, 4.16).

Тема 7. Светоизлучающие твердотельные приборы и фотоприемники

Твердотельные светоизлучающие приборы. Принцип действия, параметры. Твердотельные приемники излучения. Принцип действия, параметры. Оптопары. (Л.1: 9.1, 9.2, 9.3, 9.4, 9.5, 9.6, 9.7, 9.9, 9.11).

Тема 8. Твердотельные датчики

Датчики температуры и магнитного поля. Характеристики, параметры. (Л.1: 10.1, 10.2, 10.4, 14.1, 14.2, 14.3, 14.4).

Тема 9. Надежность твердотельных приборов

Основные понятия надежности. Типы отказов приборов. Пути повышения надежности. (Л.1: 3.32, 4.19).

Тема 10. Проблемы микроминиатюризации твердотельных приборов

Основные проблемы микроминиатюризации. Общие сведения об интегральной микроэлектронике, классификации интегральных микросхем, о планарной технологии. (Л.1: 7.1, 7.2, 7.3, 7.4, 7.5).

Заключение

Перспективные направления развития твердотельной электроники.

Примерный перечень лабораторных работ

№	Наименование работы	№ темы программы
1	Исследование полупроводниковых диодов и стабилитронов	1, 2
2	Исследование биполярного транзистора в схеме с общей базой	3
3	Исследование биполярного транзистора в схеме с общим эмиттером	3
4	Исследование частотных свойств биполярного транзистора	3
5	Исследование тиристора	4
6	Исследование полевого транзистора с управляющим p - n -переходом	5

Перечень практических занятий

№	Наименование темы занятия	№ темы программы
1	Расчет постоянных токов биполярного транзистора при активном режиме. Статические параметры транзистора	3
2	Построение статических характеристик и определение по ним малосигнальных параметров биполярного транзистора	3
3	Построение эквивалентных схем биполярного транзистора	3

Цели и содержание контрольных работ и их ориентировочная трудоемкость

Целью контрольных работ является проверка уровня освоения теоретическими знаниями, формирование навыков их практического применения при решении задач и выполнении расчетов, уяснение физического смысла явлений, закрепление в памяти основных соотношений, размерностей и порядка физических величин.

Контрольная работа № 1 должна содержать исходное задание, соотношения для построения статических характеристик, построенные статические характеристики с указанием масштаба, необходимый расчет параметров и эквивалентную схему МДП-транзистора.

Контрольная работа №2 должна содержать основные законы и формулы, на которых базируются решения задач, словесные формулировки этих законов и определений, пояснения буквенных обозначений, употребляемых при написании формул, рисунки, энергетические диаграммы, типовые вольт-амперные характеристики элементов.

Объем контрольной работы 5...6 стр. Ориентировочная трудоемкость контрольной работы 15 часов.

Цели и содержание курсовой работы и ее ориентировочная трудоемкость

Целью курсовой работы является формирование навыков самостоятельной инженерной работы; закрепление и углубление теоретических знаний функционирования и разработки полупроводниковых приборов, методику расчета их параметров, характеристик и конструкций; проектирования твердотельных устройств соответствии с индивидуальным заданием.

Курсовая работа должна содержать пояснительную записку и графическую часть. Пояснительная записка должна включать титульный лист установленного образца, задание, перечень принятых обозначений, введение с постановкой задачи, подробный расчет и обоснование выбора элементов проектируемого прибора и заключение. Объем пояснительной записки 10...15 с., включая рисунки.

Графическая часть курсовой работы должна состоять из эскизного чертежа структуры, выполненного в двух проекциях, зонных энергетических диаграмм и выходных статических характеристик.

Ориентировочная трудоемкость курсового проекта 20 часов.

Примерный перечень экзаменационных вопросов или вопросов на зачете

1. Обогащение поверхности полупроводника, помещенного во внешнее электрическое поле. Зонная энергетическая диаграмма.
2. Обеднение поверхности полупроводника, помещенного во внешнее электрическое поле. Зонная энергетическая диаграмма.
3. Инверсия типа проводимости поверхности полупроводника, помещенного во внешнее электрическое поле. Зонная энергетическая диаграмма.
4. Поверхностная рекомбинация.

5. Проводимость канала поверхностной электропроводности.
6. Образование электронно-дырочного перехода. Энергетическая диаграмма электронно-дырочного перехода.
7. Высота потенциального барьера и контактная разность потенциалов электронно-дырочного перехода.
8. Инжекция и экстракция носителей заряда через электронно-дырочный переход.
9. Методы формирования и классификация электронно-дырочных переходов.
10. Решение уравнения Пуассона для напряженности электрического поля и потенциала в одномерном p - n -переходе с резким распределением концентрации примесей. Толщина перехода.
11. Решение уравнения Пуассона для напряженности электрического поля и потенциала в одномерном p - n -переходе с линейным распределением концентрации примесей. Толщина перехода.
12. Понятие барьерной емкости p - n -перехода.
13. Барьерные емкости резкого и плавного p - n -переходов.
14. Невыпрямляющий переход при контакте полупроводников с одним типом проводимости. Контактная разность потенциалов.
15. Условие образования омического перехода при контакте металла с полупроводником p -типа. Зонная энергетическая диаграмма.
16. Условие образования выпрямляющего перехода при контакте металла с полупроводником p -типа. Зонная энергетическая диаграмма.
17. Условие образования омического перехода при контакте металла с полупроводником n -типа. Зонная энергетическая диаграмма.
18. Условие образования выпрямляющего перехода при контакте металла с полупроводником n -типа. Зонная энергетическая диаграмма.
19. Особенность инжекции носителей заряда в выпрямляющем переходе Шоттки по сравнению с p - n -переходом. Поясняющие зонные диаграммы.
20. Гетеропереходы. Энергетические диаграммы.
21. Скорость рекомбинации носителей заряда на омическом переходе и его сопротивление.
22. Коэффициенты выпрямления и нелинейности омического перехода.
23. Структура полупроводникового диода.
24. Влияние температуры, ширины запрещенной зоны полупроводника и концентрации примесей на прямую ветвь ВАХ.
25. ВАХ идеального диода на основе p - n -перехода. Выражения для тока насыщения.
26. Расчет постоянных токов, проходящих через диод и связанных с инжекцией и экстракцией носителей заряда.
27. Ток насыщения диода с толстой базой.
28. Ток насыщения диода с тонкой базой.
29. Влияние частоты сигнала на дифференциальное сопротивление диода.
30. Диффузионная емкость диодов с толстой и тонкой базами.
31. Генерация и рекомбинация носителей заряда в электронно-дырочном переходе.
32. ВАХ диода при лавинном пробое.
33. ВАХ диода при туннельном пробое.
34. ВАХ диода при тепловом пробое. Поверхностный пробой.
35. Переходные процессы в диодах при больших напряжениях и токах.
36. Переходные процессы в диодах при малых напряжениях и токах.
37. Выпрямительные плоскостные диоды. Их параметры.
38. Импульсные диоды. Основные параметры.
39. Диоды Шоттки. Преимущества перед диодами с p - n -переходом.
40. Стабилитроны и стабисторы. ВАХ, основные параметры.
41. Туннельные диоды. ВАХ, основные параметры, их температурные зависимости.

42. Варикапы. Основные параметры, частотные свойства.
43. Структура и основные режимы работы биполярного транзистора.
44. Структура токов в биполярном транзисторе в активном режиме, режиме насыщения и режиме отсечки.
45. Постоянные токи биполярного транзистора при активном режиме.
46. Статические параметры биполярного транзистора в режиме отсечки.
47. Статические параметры биполярного транзистора в активном режиме.
48. Входные статические характеристики биполярного транзистора в схеме с общей базой.
49. Выходные статические характеристики и характеристики передачи тока биполярного транзистора в схеме с общей базой.
50. Входные статические характеристики биполярного транзистора в схеме с общим эмиттером.
51. Выходные статические характеристики и характеристики передачи тока биполярного транзистора в схеме с общим эмиттером.
52. Система z -параметров для описания биполярных транзисторов при малых переменных сигналах. Достоинства и недостатки.
53. Система y -параметров для описания биполярных транзисторов при малых переменных сигналах. Достоинства и недостатки.
54. Система h -параметров для описания биполярных транзисторов при малых переменных сигналах. Достоинства и недостатки.
55. Двухгенераторные формальные эквивалентные схемы биполярного транзистора.
56. Одногенераторные формальные эквивалентные схемы биполярного транзистора.
57. Эквивалентная схема одномерной теоретической модели биполярного транзистора.
58. Физическая эквивалентная схема биполярного транзистора повышенной сложности.
59. Частотные свойства биполярного транзистора: постоянная времени цепи эмиттера, пролет носителей заряда через базу, постоянная времени цепи коллектора.
60. Частотная зависимость коэффициента передачи тока биполярного транзистора в схеме с общей базой.
61. Частотная зависимость коэффициента передачи тока биполярного транзистора в схеме с общим эмиттером.
62. Шумовые свойства биполярных транзисторов.
63. Технология изготовления и конструкция биполярных транзисторов.
64. Виды отказов транзисторов.
65. Структура и принцип действия диодного тиристора.
66. Особенности характеристик диодного тиристора с зашунтированным эмиттерным переходом.
67. Триодные тиристоры. Особенности процесса переключения.
68. Способы включения и выключения тириستоров.
69. Структура и принцип действия полевого транзистора с управляющим p - n -переходом.
70. Выходные статические характеристики и параметры полевого транзистора с управляющим p - n -переходом.
71. Эквивалентные схемы и частотные свойства полевого транзистора с управляющим p - n -переходом.
72. Структуры МДП-транзисторов.
73. Выходные и передаточные статические характеристики МДП-транзистора с индуцированным каналом.
74. Выходные и передаточные статические характеристики МДП-транзистора со встроенным каналом.

75. Расчет выходных статических характеристик МДП-транзистора.
76. Крутизна МДП-транзистора. Физическая эквивалентная схема.
77. Структура и принцип действия приборов с зарядовой связью.
78. Применение приборов с зарядовой связью.
79. Шумовые диоды, основные параметры.
80. Физические явления, обуславливающие появление шумов в биполярном транзисторе. Зависимости коэффициента шума от режимов транзистора.
81. Классификация оптоэлектронных полупроводниковых приборов.
82. Полупроводниковые приборы отображения информации. Конструкция и технология изготовления. Основные характеристики.
83. Электролюминесцентные порошковые и пленочные излучатели. Принцип действия, основные характеристики и параметры.
84. Лазеры. Принцип действия, конструкция и технология, основные характеристики и параметры.
85. Фоторезисторы. Технология изготовления, основные характеристики.
86. Фотодиоды. Основные характеристики.
87. Полупроводниковые фотоэлементы. Назначение, принцип действия, основные характеристики и параметры.
88. Оптипары и оптоэлектронные микросхемы.
89. Термисторы прямого подогрева. Принцип действия, характеристики и параметры.
90. Болометры. Назначение, параметры.
91. Позисторы, основные характеристики.
92. Принцип действия и основные характеристики датчиков Холла.
93. Принцип действия магниторезисторов, магнитодиодов и магнитотранзисторов.
94. Общие понятия надежности, основные причины отказов полупроводниковых диодов.
95. Катастрофические и условные отказы биполярных транзисторов.
96. Задачи и принципы микроэлектроники. Классификация интегральных микросхем.
97. Методы изоляции элементов интегральных микросхем.
98. Формирование биполярных транзисторов, диодов, МДП-транзисторов в интегральных микросхемах.
99. Пассивные элементы интегральных микросхем: диффузионные и пленочные резисторы.
100. Пассивные элементы интегральных микросхем: диффузионные, пленочные и МДП-конденсаторы.

Литература

Основная

1. Пасынков В.В., Чиркин Л.К. Полупроводниковые приборы: Учебник для вузов. 7-е изд. – СПб.: Издательство «Лань», 2003.
2. Чиркин Л.К., Андреев А.П., Ганенков Н.А. Физика полупроводниковых приборов и основы микроэлектроники. Учебное пособие. – СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 1999.
3. Ливенцева И.Ф. Методические указания к выполнению лабораторных работ по курсу «Полупроводниковые приборы». – Л.: ЛЭТИ, 1981.
4. Ливенцева И.Ф. Характеристики и параметры биполярного транзистора. Методические указания к выполнению лабораторных работ. – Л.: ЛЭТИ, 1991.
5. Ливенцева И.Ф. Методические указания к выполнению курсовой работы по дисциплине «Полупроводниковые приборы». – Л.: ЛЭТИ, 1989.

Дополнительная

1. Зи С. Физика полупроводниковых приборов, в 2-х томах. – М.: Мир, 1984, 1985.
2. Степаненко И.П. Основы микроэлектроники. – М.: Сов радио, 1980.

Контрольная работа № 1

Тема: МДП-транзисторы

Задание:

1. Построить выходные статические характеристики МДП-транзистора $I_C = f(U_{СИ})$ при $U_{ЗИ} = \text{const}$ в диапазонах изменений напряжений $|U_{ЗИ}| = 0 \dots 5 \text{ В}$, $|U_{СИ}| = 0 \dots 5 \text{ В}$ для заданного варианта параметров, приведенных ниже в таблице (условные обозначения соответствуют [1]).

2. Построить статическую характеристику передачи $I_C = f(U_{ЗИ})$ при $U_{СИ} = \text{const}$ того же транзистора при условии, что транзистор работает на пологой части выходных характеристик.

3. Рассчитать крутизну характеристики передачи транзистора S в рабочей точке по постоянному току, приведенной в таблице.

4. Определить графически значения крутизны характеристики передачи в той же рабочей точке по выходным и передаточным характеристикам. Сопоставить полученные значения с рассчитанными в п.3.

5. Рассчитать значения u -параметров МДП-транзистора в той же рабочей точке для схемы включения с общим истоком.

6. Изобразить эквивалентную схему рассматриваемого МДП-транзистора для диапазона низких частот.

Вариант задания	Тип канала	$\mu_{ps}, \text{см}^2/(\text{В} \cdot \text{с})$	$C_{зк}, \text{пФ/мкм}^2$	$U_{ЗИпор}, \text{В}$	$b, \text{мкм}$	$l, \text{мкм}$	Рабочая точка	
							$ U_{ЗИ} , \text{В}$	$ U_{СИ} , \text{В}$
1	<i>n</i> -	610	$9,0 \cdot 10^{-4}$	0,76	22	3,1	2,0	2,5
2	<i>n</i> -	590	$8,7 \cdot 10^{-4}$	0,63	31	4,3	3,0	3,0
3	<i>n</i> -	620	$9,6 \cdot 10^{-4}$	0,93	47	5,7	2,5	4,5
4	<i>n</i> -	550	$1,3 \cdot 10^{-3}$	1,1	33	4,1	4,0	3,5
5	<i>n</i> -	590	$8,8 \cdot 10^{-4}$	- 0,78	29	2,7	1,5	3,5
6	<i>n</i> -	630	$9,2 \cdot 10^{-4}$	- 1,2	55	5,1	0	2,5
7	<i>n</i> -	580	$1,4 \cdot 10^{-3}$	- 0,94	43	3,3	1,0	4,0
8	<i>p</i> -	- 210	$9,1 \cdot 10^{-4}$	- 0,81	24	3,7	2,5	2,5
9	<i>p</i> -	- 180	$7,6 \cdot 10^{-4}$	- 1,1	46	5,6	3,0	2,5
10	<i>p</i> -	- 220	$1,5 \cdot 10^{-3}$	- 1,2	34	2,3	3,5	3,0
11	<i>p</i> -	- 190	$8,3 \cdot 10^{-4}$	- 0,97	54	4,1	4,0	5,0
12	<i>p</i> -	- 230	$1,1 \cdot 10^{-3}$	0,83	44	3,9	2,0	4,5
13	<i>p</i> -	- 200	$9,3 \cdot 10^{-4}$	0,77	18	7,7	1,5	3,5
14	<i>p</i> -	- 160	$1,2 \cdot 10^{-3}$	1,3	46	5,5	0	2,5

Контрольная работа № 2

Вариант 1

1. Изобразить энергетические диаграммы p - n -перехода при отсутствии внешнего напряжения, при прямом и обратном внешних напряжениях.
2. Записать соотношения для полной толщины резкого p - n -перехода, резкого несимметричного p - n -перехода, толщины плавного p - n -перехода с линейным распределением примесей.
3. Записать соотношения для барьерной емкости для резкого p - n -перехода, несимметричного резкого p - n -перехода и для плавного p - n -перехода с линейным распределением примесей.

Вариант 2

1. Пояснить с помощью энергетической диаграммы образование омического перехода на контакте полупроводников с одним типом электропроводности.
2. Обосновать условия образования омического перехода на контакте металла с полупроводником.
3. Перечислить требования, свойства и параметры омических переходов.

Вариант 3

1. Изобразить вольт-амперную характеристику диода при прямом и обратном включениях.
2. Привести упрощенные соотношения для плотности тока насыщения и прямого тока диода.
3. Дать определения основных параметров диода: активное сопротивление, диффузионная емкость, постоянная времени.

Вариант 4

1. Перечислить основные типы диодов.
2. Перечислить и дать определения основных характеристик и параметров выпрямительных диодов, импульсных диодов, стабилитронов, туннельных диодов, варикапов.
3. Привести и пояснить особенности типовых вольт-амперных характеристик выпрямительных кремниевых диодов, стабилитронов, туннельных диодов.

Вариант 5

1. Изобразить структуру биполярного транзистора, перечислить основные режимы его работы, описать распределение стационарных потоков носителей заряда в различных режимах.
2. Перечислить и пояснить основные статические параметры биполярного транзистора в различных режимах.
3. Привести семейства входных и выходных статических характеристик биполярного транзистора, включенного по схемам с общей базой и с общим эмиттером.

Вариант 6

1. Записать малосигнальные параметры четырехполюсника, эквивалентного транзистору.
2. Привести формулы перехода между системами параметров, их перерасчет из одной схемы включения транзистора в другую.

Вариант 7

1. Определить формальные и физические эквивалентные схемы транзисторов.
2. Показать эквивалентные схемы одномерной теоретической модели биполярного транзистора.
3. Изобразить полные эквивалентные схемы биполярного транзистора.

Вариант 8

1. Описать структуру и принцип действия диодного тиристора.
2. Описать функционирование триодного тиристора.
3. Перечислить и пояснить способы управления тиристорами.

Вариант 9

1. Пояснить структуру и принцип действия полевого транзистора с управляющим переходом.
2. Определить статические характеристики полевого транзистора с управляющим переходом.
3. Привести формулы расчета статических характеристик и эквивалентные схемы полевого транзистора с управляющим переходом.

Вариант 10

1. Представить структуру МДП-транзистора, принцип его действия, статические характеристики.
2. Привести соотношения для статических характеристик и параметров МДП-транзисторов.
3. Описать структуру и принцип действия приборов с зарядовой связью.

Вариант 11

1. Перечислить задачи и принципы микроэлектроники, классификацию интегральных микросхем.
2. Описать методы изоляции элементов интегральных микросхем, формирования активных и пассивных элементов.

Вариант 12

1. Описать принцип действия и конструкцию полупроводниковых приборов отображения информации.
2. Пояснить особенности работы фоторезисторов, фотодиодов, полупроводниковых фотоэлементов, фототранзисторов.
3. Дать описания оптопары и оптоэлектронной микросхемы.

Вариант 13

1. Описать принципы действия и основные характеристики термисторов прямого подогрева, болометров и позисторов.
2. Пояснить принципы действия преобразователей Холла, магниторезисторов, магнитодиодов и магнитотранзисторов.

Вариант 14

1. Записать малосигнальные параметры четырехполюсника, эквивалентного транзистору.
2. Привести формулы перехода между системами параметров, их перерасчет из одной схемы включения транзистора в другую.

Курсовая работа

Тема: Расчет биполярного транзистора

Задание:

Вар	Тип	Структура	$T_{\text{Пmax}}$ К	$U_{\text{Кбmax}}$ В	$I_{\text{Кmax}}$ мА	$P_{\text{Кmax}}$ мВт	$f_{\text{гр}}$ кГц	$h_{21Э}$	S см/с	$I_{\text{Э}}$ мА	$U_{\text{КБ}}$ В
1	<i>n-p-n</i>	Полоск.	358	15	50	250	50	50	100	15	10
2	<i>n-p-n</i>	Полоск.	358	12	40	260	40	60	100	15	10
3	<i>n-p-n</i>	Полоск.	358	15	40	270	30	70	100	15	12
4	<i>p-n-p</i>	Полоск.	358	12	50	280	25	75	150	10	10
5	<i>p-n-p</i>	Полоск.	358	15	45	300	20	80	150	20	12
6	<i>n-p-n</i>	Полоск.	398	80	50	150	60	30	200	10	10
7	<i>n-p-n</i>	Полоск.	398	70	50	180	65	35	200	10	15
8	<i>n-p-n</i>	Полоск.	398	60	50	200	60	40	200	15	10
9	<i>p-n-p</i>	Полоск.	398	70	40	220	70	30	250	15	10
10	<i>p-n-p</i>	Полоск.	398	80	40	250	60	35	300	15	15
11	<i>p-n-p</i>	Осесим.	358	15	50	300	30	60	100	12	12
12	<i>p-n-p</i>	Осесим.	358	12	40	290	20	75	100	20	10
13	<i>p-n-p</i>	Осесим.	358	15	40	275	40	50	100	15	12
14	<i>n-p-n</i>	Осесим.	358	12	50	260	20	70	150	20	10
15	<i>n-p-n</i>	Осесим.	358	15	50	250	20	80	150	20	10
16	<i>p-n-p</i>	Осесим.	398	80	50	250	70	30	300	10	15
17	<i>p-n-p</i>	Осесим.	398	70	50	220	60	35	200	15	12
18	<i>p-n-p</i>	Осесим.	398	60	50	150	60	30	300	15	15
19	<i>n-p-n</i>	Осесим.	398	70	40	180	70	30	250	10	10
20	<i>n-p-n</i>	Осесим.	398	80	40	200	60	30	250	15	12