

# СОДЕРЖАНИЕ

## Лекция 1. Алферов Ж. И.

|   |           |
|---|-----------|
| <b>Двойные гетероструктуры: концепция и применения в физике, электронике и технологии</b> ..... | <b>10</b> |
| 1.1. Введение.....  | 10        |
| 1.2. Классические гетероструктуры.....  | 11        |
| 1.3. Гетероструктуры с квантовыми ямами и сверхрешетками.....                                   | 20        |
| 1.4. Гетероструктуры с квантовыми проволоками<br>и квантовыми точками.....                      | 27        |
| 1.5. Тенденции развития.....  | 36        |
| Литература.....   | 38        |

## Лекция 2. Федотов Я. А.

|   |           |
|---|-----------|
| <b>Электроны и дырки...</b> .....             | <b>46</b> |
| 2.1. Первая революция в электронике.....      | 48        |
| 2.2. Утраченный приоритет.....                | 49        |
| 2.3. Спасательный круг в электронике.....     | 51        |
| 2.4. Надежность — дело тонкое.....            | 53        |
| 2.5. Спасательный круг или гормон роста?..... | 57        |
| 2.6. Засучив рукава.....                      | 58        |
| 2.7. Планарная технология.....                | 59        |
| 2.8. Интегральная микроэлектроника.....       | 62        |
| 2.9. Микропроцессоры и микроконтроллеры.....  | 64        |
| 2.10. Виртуальное тестирование.....           | 67        |
| 2.11. А что в итоге?.....                     | 68        |
| Литература.....                               | 70        |

## Лекция 3. Валиев К. А.

|  |           |
|--|-----------|
| <b>От микро- и нанoeлектроники к твердотельным квантовым компьютерам</b> .....             | <b>72</b> |
| 3.1. Транзисторная нанoeлектроника.....  | 76        |
| 3.2. Мезоскопические наноструктуры и приборы на их основе.....                             | 89        |
| 3.3. Смена парадигмы наноприборов: переход<br>к функционированию по квантовым законам..... | 91        |
| Литература.....  | 95        |

## Лекция 4. Малашевич Б. М., Малашевич Д. Б.

|  |           |
|--|-----------|
| <b>Микроэлектроника. Краткие основы и история развития</b> ..... | <b>96</b> |
| 4.1. Введение.....   | 96        |
| 4.2. Полупроводники.....   | 98        |
| 4.2.1. О физике полупроводников.....                             | 99        |
| 4.2.2. Полупроводниковые материалы.....                          | 105       |
| 4.3. Полупроводниковые приборы.....                              | 106       |

|   |     |
|---|-----|
| 4.3.1. Полупроводниковые диоды.....   | 107 |
| 4.3.2. Полупроводниковые триоды — транзисторы.....                                  | 107 |
| 4.3.3. Интегральные схемы.....  | 107 |
| 4.3.4. Конструкции полупроводниковых приборов.....                                  | 108 |
| 4.3.5. Типы р-п переходов полупроводниковых приборов.....                           | 108 |
| 4.3.6. Полупроводниковые диоды.....   | 109 |
| 4.3.7. Транзисторы.....   | 109 |
| 4.3.7.1. Виды транзисторов.....   | 110 |
| 4.3.7.2. Первый транзистор.....   | 110 |
| 4.3.7.3. Первые плоскостные транзисторы.....  | 113 |
| 4.3.7.4. Биполярные транзисторы и диоды.....  | 114 |
| 4.3.7.5. Точечные приборы.....  | 115 |
| 4.3.7.6. Плоскостные приборы.....   | 116 |
| 4.3.7.7. Полевые транзисторы.....   | 121 |
| 4.4. Микроминиатюризация.....   | 122 |
| 4.5. Роль транзистора.....  | 124 |
| 4.6. Интегральная электроника.....  | 124 |
| 4.6.1. Гибридная микроэлектроника.....  | 125 |
| 4.6.1.1. Толсто пленочные ГИС.....  | 125 |
| 4.6.1.2. Тонко пленочные ГИС.....   | 129 |
| 4.6.2. Полупроводниковая микроэлектроника.....                                      | 131 |
| 4.6.2.1. Первые полупроводниковые интегральные схемы.....                           | 132 |
| 4.6.2.2. 1962 г. — год зарождения микроэлектронной промышленности в США и СССР..... | 137 |
| 4.6.3. Микроэлектронно-механические системы (МЭМС).....                             | 139 |
| 4.6.4. Технолгия создания полупроводниковых приборов.....                           | 140 |
| 4.6.4.1. Проектирование.....  | 140 |
| 4.6.4.2. Выполнение проекта.....  | 145 |
| 4.6.4.3. Завод полупроводниковых приборов.....                                      | 154 |
| 4.6.4.4. Отечественная микроэлектроника.....  | 159 |
| 4.6.5. Нанозлектроника.....   | 165 |
| 4.6.5.1. Традиционная нанозлектроника.....  | 165 |
| 4.6.5.2. Молекулярная нанозлектроника.....  | 166 |
| 4.7. Заключение.....  | 170 |

## Лекция 5. Носов Ю. Р.

|  |            |
|--|------------|
| <b>Оптоэлектроника: исторический аспект.....</b> | <b>171</b> |
| 5.1. Введение.....                               | 171        |
| 5.2. Предмет исследования.....                   | 172        |
| 5.3. Из предыстории в современность.....         | 175        |
| 5.4. «Новая физика» для оптоэлектроники.....     | 179        |
| 5.5. Фотоприемники.....                          | 182        |
| 5.6. Излучатели.....                             | 185        |
| 5.7. Транзисторная классика.....                 | 190        |

|   |            |
|---|------------|
| 5.8. Гетеролазер — премьер оптоэлектроники.....   | 193        |
| 5.9. Материалы оптоэлектроники.....   | 198        |
| 5.10. Заключение.....   | 202        |
| <b>Лекция 6. Дирочка А. И., Курбатов Л. Н.</b>  |            |
| <b>Фотоэлектроника.....</b>   | <b>206</b> |
| <b>Часть I.....</b>   | <b>206</b> |
| 6.1. Введение.....  | 206        |
| 6.1.1. Краткий очерк развития разработок фотоприемников.....  | 207        |
| 6.1.2. Фотоприемники на основе внешнего фотоэффекта<br>(фотоэмиссионные ФП).....                      | 208        |
| 6.1.3. Фотоприемники на основе внутреннего фотоэффекта.....   | 211        |
| 6.2. Основные фотоэлектрические параметры ФП.....   | 214        |
| 6.3. Фотонные приемники излучения.....  | 221        |
| 6.3.1. Фотоэлектрические полупроводниковые<br>приемники излучения (ФЭПП).....                         | 222        |
| 6.3.1.1. Фоторезисторы (ФР).....  | 222        |
| 6.3.1.2. Фотовольтаические ФП.....  | 228        |
| 6.3.1.3. Фотодиод (ФД).....   | 229        |
| 6.3.1.4. Вольтамперная характеристика (ВАХ) фотодиода.<br>Структура фотодиода. Лавинный фотодиод..... | 230        |
| 6.3.1.5. Фотовольтаический режим работы фотодиода.....  | 231        |
| 6.3.1.6. Фотодиодный режим работы ФД.....   | 232        |
| 6.3.1.7. Лавинные фотодиоды (ЛФД).....  | 234        |
| 6.3.2. Параметры фотоэлектрических полупроводниковых<br>приемников излучения (ФЭПП). Шумы ФЭПП.....   | 237        |
| 6.3.2.1. Мощность, эквивалентная шуму (пороговая<br>чувствительность).....                            | 241        |
| 6.3.2.2. Обнаружительная способность.....   | 242        |
| 6.3.3. Фотоприемники на основе низкоразмерных структур.....   | 243        |
| 6.3.3.1. Сверхрешетки (СР).....   | 243        |
| 6.3.3.2. Физические основы работы ФП на сверхрешетках.....  | 246        |
| 6.3.3.3. Лавинный фотодиод на основе СР.....  | 246        |
| 6.3.3.4. Фотоприемники на ИК-область спектра<br>на межминизонных переходах.....                       | 247        |
| Литература.....   | 249        |
| <b>Часть II.....</b>  | <b>251</b> |
| 6.3.6. Фотоэмиссионные фотоприемники<br>(фотоприемники на основе внешнего фотоэффекта).....           | 251        |
| 6.3.6.1. Законы внешнего фотоэффекта.....   | 252        |
| 6.3.6.2. Фотоэлектронный умножитель (ФЭУ).....  | 256        |
| 6.3.7. Прием оптического сигнала.<br>Особенности электронного тракта ФП и ФПУ.....                    | 258        |

|   |     |
|---|-----|
| 6.3.8. Гетеродинный (когерентный) прием излучения<br>оптического диапазона.....               | 261 |
| 6.4. Тепловые приемники излучения (ТПИ).....  | 263 |
| 6.4.1. Типы ТПИ.....  | 265 |
| 6.5. Фотоэлектрические приемники изображения<br>(формирователи сигнала изображения, ФСИ)..... | 269 |
| 6.5.1. Электронно-оптические преобразователи (ЭОП).....                                       | 269 |
| 6.5.2. Приемники изображения на основе ФЭПП.....  | 274 |
| 6.5.3. Фотоматрицы для средней и дальней ИК-областей спектра.....                             | 283 |
| Заключение.....   | 293 |
| Литература.....   | 293 |

### **Лекция 7. Ковалев Ф. И.**

|   |            |
|---|------------|
| <b>Силовая электроника.....</b>                           | <b>295</b> |
| 7.1. Введение.....  | 295        |
| 7.2. Параметры и характеристики электроэнергии.....       | 297        |
| 7.3. Основные типы статистических преобразователей.....   | 297        |
| 7.4. Силовые полупроводниковые приборы.....               | 300        |
| 7.5. Силовые интегральные схемы.....                      | 309        |
| 7.6. Разумные (интеллектуальные) интегральные схемы.....  | 311        |
| 7.7. Применение силовых преобразовательных устройств..... | 312        |
| 7.8. Тяговый электропривод.....                           | 316        |
| 7.9. Агрегаты бесперебойного питания.....                 | 316        |
| 7.10. Электрооборудование автотранспорта.....             | 318        |
| 7.11. Светотехническое оборудование.....                  | 319        |
| 7.12. Индукционный нагрев.....                            | 319        |
| 7.13. Статические коммутационные аппараты.....            | 319        |
| 7.14. Заключение.....                                     | 321        |
| Литература.....   | 321        |

### **Лекция 8. Щука А. А.**

|   |            |
|---|------------|
| <b>Элементы и приборы нанoeлектроники.....</b>              | <b>322</b> |
| 8.1. Введение в нанoeлектронику.....                        | 322        |
| 8.2. Нанотранзисторные структуры.....                       | 327        |
| 8.2.1. Кремниевые транзисторы.....                          | 327        |
| 8.2.2. Гетеротранзисторы.....                               | 332        |
| 8.2.3. Нанотранзисторы на основе углеродных нанотрубок..... | 340        |
| 8.2.4. Успехи и перспективы нанотранзисторостроения.....    | 341        |
| 8.3. Приборы одноэлектроники.....                           | 343        |
| 8.3.1. Эффект одноэлектронного туннелирования.....          | 343        |
| 8.3.2. Приборные структуры одноэлектроники.....             | 345        |
| 8.3.3. Устройства на одноэлектронных транзисторах.....      | 350        |
| 8.4. Приборы политроники.....                               | 354        |
| 8.5. Спинтроника.....                                       | 359        |

|   |            |
|---|------------|
| 8.5.1. Природа спиновых волн.....   | 359        |
| 8.5.2. Приборы на МСВ.....  | 362        |
| 8.6. Нанoeлектронные запоминающие устройства.....                                   | 366        |
| 8.7. Заключение.....  | 370        |
| Литература.....   | 370        |
| <b>Лекция 9. Грибов Б. Г.</b>   |            |
| <b>Электронное материаловедение.....</b>  | <b>372</b> |
| 9.1. Введение в электронное материаловедение.....                                   | 372        |
| 9.2. Органические материалы в микроэлектронике.....                                 | 383        |
| <b>Лекция 10. Шука А. А.</b>  |            |
| <b>Функциональная электроника.....</b>  | <b>388</b> |
| 10.1. Микроэлектроника сегодня, завтра.....   | 388        |
| 10.2. Микроэлектроника динамических неопределенностей.....                          | 391        |
| 10.3. Направления развития функциональной электроники.....                          | 397        |
| 10.3.1. Функциональная акустоэлектроника.....                                       | 397        |
| 10.3.2. Функциональная диэлектрическая электроника.....                             | 403        |
| 10.3.3. Полупроводниковая функциональная электроника.....                           | 407        |
| 10.3.4. Функциональная магнитоэлектроника.....                                      | 413        |
| 10.4. Функциональная оптоэлектроника.....   | 416        |
| 10.5. Функциональная молекулярная электроника.....                                  | 420        |
| 10.5.1. Устройства функциональной электроники<br>второго поколения.....             | 421        |
| 10.6. Заключение.....   | 424        |
| <b>Лекция 11. Гуляев Ю. В.</b>  |            |
| <b>Акустоэлектроника (исторический аспект).....</b>                                 | <b>425</b> |
| 11.1. Введение.....   | 425        |
| 11.2. Акустоэлектронные явления на поверхностных<br>акустических волнах.....        | 427        |
| 11.3. Акустоэлектроника сверхвысоких частот на объемных<br>акустических волнах..... | 435        |
| 11.4. Физические исследования по акустоэлектронике.....                             | 442        |
| 11.5. Заключение: некоторые перспективы.....  | 444        |
| Литература.....   | 446        |
| <b>Лекция 12. Яковлев Ю. М., Петров В. В.</b>                                       |            |
| <b>Магнитная электроника.....</b>   | <b>448</b> |
| 12.1. Введение.....   | 449        |
| 12.2. Основы технологии ферритовых материалов.....                                  | 462        |
| 12.3. Ферритовые материалы в радио- и телевизионной технике.....                    | 464        |
| 12.4. Гиромagnetизм и применение ферритов в СВЧ диапазоне.....                      | 469        |

|   |     |
|---|-----|
| 12.4.1. Классификация ферритов СВЧ,<br>основные параметры, ряды.....          | 472 |
| 12.4.2. Классификация, назначение и параметры ферритовых<br>приборов СВЧ..... | 474 |
| 12.4.3. Принцип действия и конструкция<br>ферритовых циркуляторов.....        | 476 |
| 12.4.4. Радиопоглощающие материалы и покрытия.....                            | 478 |
| 12.5. Спин-волновые среды и приборы.....                                      | 479 |
| 12.5.1. Приборы спин-волновой электроники.....                                | 479 |
| 12.5.2. Приборы, использующие нелинейные свойства МСВ.....                    | 481 |
| 12.5.3. Монокристаллические ферритовые материалы и их<br>применение.....      | 482 |
| 12.6. Магнитооптические эффекты и их применение.....                          | 487 |
| 12.7. Магнитная память и запоминающие устройства.....                         | 491 |
| 12.7.1. Общие сведения и магнитные материалы<br>для элементов памяти.....     | 491 |
| 12.7.2. Магнитные элементы памяти с неразветвленным<br>магнитопроводом.....   | 492 |
| 12.7.3. Магнитные элементы памяти с разветвленным<br>магнитопроводом.....     | 494 |
| 12.7.4. Цилиндрические магнитные домены.....                                  | 496 |
| Литература.....   | 497 |

### **Лекция 13. Мальцев П. П., Телец В. А.**

|   |            |
|---|------------|
| <b>Микросистемная техника.....</b>  | <b>499</b> |
| 13.1. Предисловие.....  | 499        |
| 13.2. Введение.....   | 501        |
| 13.3. Общие положения.....  | 505        |
| 13.3.1. Основные направления развития изделий МСТ.....                                      | 505        |
| 13.3.1.1. Управление развитием изделий МСТ.....   | 508        |
| 13.3.1.2. Достижения в развитии изделий МСТ.....  | 509        |
| 13.3.1.3. Условия для развития изделий МСТ.....   | 511        |
| 13.3.2. Принципы построения и технология<br>изготовления изделий МСТ.....                   | 512        |
| 13.3.2.1. Состав основных параметров и характеристик<br>изделий микросистемной техники..... | 512        |
| 13.3.2.2. Материаловедческий базис изделий МСТ.....   | 514        |
| 13.3.2.3. Технологический базис изделий МСТ.....  | 522        |
| 13.3.3. Элементный базис изделий МСТ.....   | 535        |
| 13.3.3.1. Технология МСТ и МЭМС устройств<br>для СВЧ-техники.....                           | 554        |
| 13.3.4. Перспективные области боевого<br>и специального применения изделий МСТ.....         | 558        |
| Литература.....   | 573        |

**Лекция 14. Левин В. К.****Высокопроизводительные вычислительные системы —**

|   |            |
|---|------------|
| <b>суперкомпьютеры в России</b> .....   | <b>576</b> |
| 14.1. Общая характеристика развития суперкомпьютеров.....                                   | 576        |
| 14.2. Современные концепции построения<br>высокопроизводительных вычислительных систем..... | 580        |
| 14.3. Факторы повышения производительности<br>вычислительных систем.....                    | 582        |
| 14.4. Реализация многопроцессорных вычислительных систем.....                               | 584        |
| 14.5. Заключение.....   | 587        |
| Литература.....   | 588        |

**Лекция 15. Валиев К. А.****Квантовая информатика: квантовые компьютеры, связь и криптография**..... **595**

|  |     |
|--|-----|
| 15.1. Введение.....  | 595 |
| 15.2. Классическая информатика и ее элементная база.....     | 596 |
| 15.3. Квантовая физика и квантовая информатика.....          | 597 |
| 15.4. Кубиты — квантовые биты и операции над ними.....       | 598 |
| 15.5. Схема квантового компьютера.....                       | 600 |
| 15.6. Возможные пути создания квантовых компьютеров.....     | 601 |
| 15.7. Квантовая коррекция ошибок в квантовом компьютере..... | 604 |
| 15.8. Квантовая связь и криптография.....                    | 605 |
| 15.9. Заключение.....  | 606 |
| Литература.....  | 607 |