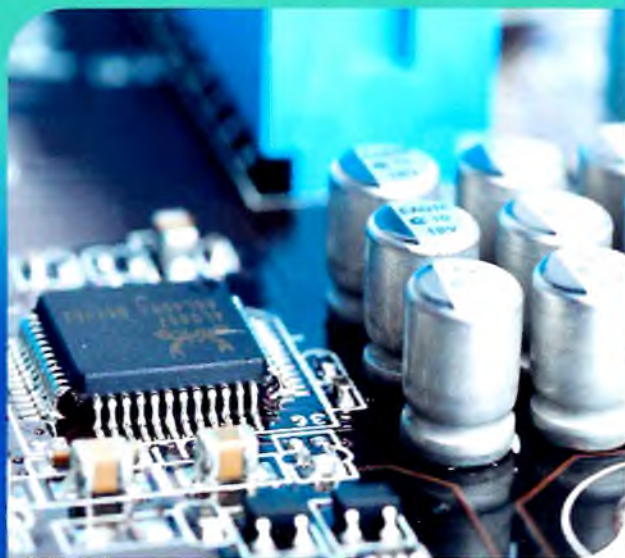




«Инфра-Инженерия»



И. К. НИКИФОРОВ

# ЭЛЕКТРОННАЯ АППАРАТУРА

## ОСНОВНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ТЕХНОЛОГИИ МИКРО- И НАНОЭЛЕКТРОНИКИ

## ОГЛАВЛЕНИЕ

|                                                                                        |            |
|----------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| Условные сокращения.....                                                               | 5          |
| Предисловие.....                                                                       | 7          |
| <b>1. Этапы и перспективы развития электроники.....</b>                                | <b>9</b>   |
| 1.1. Исторические этапы в развитии электроники.....                                    | 9          |
| 1.2. Перспективы развития электроники.....                                             | 15         |
| 1.3. Перспективы развития силовой электроники.....                                     | 48         |
| Список литературы.....                                                                 | 58         |
| <b>2. Материалы электроники .....</b>                                                  | <b>59</b>  |
| 2.1. Материалы для производства полупроводников.....                                   | 59         |
| 2.1.1. Кремний.....                                                                    | 59         |
| 2.1.2. Арсенид галлия.....                                                             | 63         |
| 2.1.3. Нитриды галлия и алюминия .....                                                 | 83         |
| 2.1.4. Карбид и нитрид кремния.....                                                    | 87         |
| 2.2. Алмаз и композитные материалы .....                                               | 95         |
| 2.2.1. Алмаз .....                                                                     | 95         |
| 2.2.2. Композиты на основе алмаза.....                                                 | 105        |
| 2.2.3. Другие композитные материалы.....                                               | 109        |
| 2.3. Материалы для различных технологий.....                                           | 124        |
| 2.3.1. Материалы для изготовления резисторов<br>и конденсаторов.....                   | 124        |
| 2.3.2. Материалы для пайки.....                                                        | 132        |
| 2.3.3. Теплоотводящие материалы .....                                                  | 140        |
| 2.4. Наноматериалы.....                                                                | 143        |
| Список литературы.....                                                                 | 158        |
| <b>3. Обзор технологий электроники .....</b>                                           | <b>160</b> |
| 3.1. Основные технологии микро- и нанoeлектроники.....                                 | 160        |
| 3.1.1. Технологии микроэлектроники.....                                                | 161        |
| 3.1.2. Технологии нанoeлектроники .....                                                | 177        |
| 3.2. Обзор статей в микро- и нанoeлектронике.....                                      | 191        |
| 3.2.1. Обзор технологий получения слоев и покрытий.....                                | 192        |
| 3.2.2. Обзор лазерных технологий .....                                                 | 221        |
| 3.2.3. Обзор методов литографии.....                                                   | 228        |
| 3.2.4. Обзор некоторых технологий,<br>связанных с подложками и печатными платами ..... | 251        |
| Список литературы.....                                                                 | 274        |

|                                                                       |            |
|-----------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>4. Технологии изготовления микросхем и модулей .....</b>           | <b>278</b> |
| 4.1. Технологии, применяемые в изготовлении микросхем .....           | 279        |
| 4.1.1. Упаковка микросхем .....                                       | 279        |
| 4.1.2. Корпусирование микросхем и микромодулей .....                  | 292        |
| 4.1.3. Примеры технологий вакуумплотности<br>и герметизации .....     | 319        |
| 4.1.4. Влагозащита .....                                              | 328        |
| 4.1.5. Обеспечение радиационной стойкости корпусов<br>микросхем ..... | 333        |
| 4.2. Технологии применяемые в изготовлении модулей<br>СЭА .....       | 351        |
| 4.2.1. Основания – подложки модулей .....                             | 351        |
| 4.2.2. Модули и блоки СЭА .....                                       | 362        |
| 4.2.3. Технологии, улучшающие отвод теплоты<br>от модулей .....       | 379        |
| Список литературы .....                                               | 403        |
| Приложение 1 .....                                                    | 406        |
| Приложение 2 .....                                                    | 409        |
| Приложение 3 .....                                                    | 411        |