

УДК 621.372.6
621.372.6.01

Г. С. Плотников, В. Б. Зайцев

Микроэлектроника: основы молекулярной электроники

2-е издание



УМО ВО рекомендует

 **Юрайт**
издательство

Г. С. Плотников, В. Б. Зайцев

МИКРОЭЛЕКТРОНИКА ОСНОВЫ МОЛЕКУЛЯРНОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ

УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ ДЛЯ ВУЗОВ

2-е издание, исправленное и дополненное

*Рекомендовано Учебно-методическим отделом высшего образования
в качестве учебного пособия для студентов высших учебных заведений,
обучающихся по инженерно-техническим направлениям*

**Книга доступна на образовательной платформе «Юрайт» urait.ru,
а также в мобильном приложении «Юрайт.Библиотека»**

Москва • Юрайт • 2022

УДК 53(075.8)

ББК 22.36я73

П39

Авторы:

Плотников Геннадий Семенович — доктор физико-математических наук, профессор, преподаватель кафедры общей физики и молекулярной электроники отделения экспериментальной и теоретической физики физического факультета Московского государственного университета имени М. В. Ломоносова;

Зайцев Владимир Борисович — кандидат физико-математических наук, доцент кафедры общей физики и молекулярной электроники отделения экспериментальной и теоретической физики физического факультета Московского государственного университета имени М. В. Ломоносова.

Плотников, Г. С.

П39 Микроэлектроника: основы молекулярной электроники : учебное пособие для вузов / Г. С. Плотников, В. Б. Зайцев. — 2-е изд., испр. и доп. — Москва : Издательство Юрайт, 2022. — 166 с. — (Высшее образование). — Текст : непосредственный.

ISBN 978-5-534-03637-4

В учебном пособии описана возможная элементная база устройств молекулярной электроники и технологические приемы синтеза наноструктур. В нем рассмотрены вопросы электроники молекулярных систем на поверхности полупроводников, а также принципы построения действующих и перспективных устройств молекулярной электроники.

Соответствует актуальным требованиям федерального государственного образовательного стандарта высшего образования.

Для студентов высших учебных заведений, обучающихся по инженерно-техническим направлениям.

УДК 53(075.8)

ББК 22.36я73

Все права защищены. Никакая часть данной книги не может быть воспроизведена в какой бы то ни было форме без письменного разрешения владельцев авторских прав.

ISBN 978-5-534-03637-4

© Плотников Г. С., Зайцев В. Б., 2000

© Плотников Г. С., Зайцев В. Б., 2017,
с изменениями

© ООО «Издательство Юрайт», 2022

Оглавление

Предисловие	5
Список используемых сокращений	7
Список используемых обозначений	7
Введение	9
Глава I. Возможные механизмы передачи информации в молекулярных системах	13
1.1. Движение носителей заряда в молекулярных системах	14
1.2. Безызлучательный перенос энергий электронного возбуждения	28
1.3. Экситонные процессы	35
1.4. Солитонный механизм передачи энергии и заряда	39
Глава II. Элементная база молекулярной электроники	45
2.1. Проблема использования отдельных молекул и их комплексов в качестве логических элементов электронных устройств	45
2.2. Пример построения молекулярного элемента памяти	47
2.3. Молекулярные кристаллы	49
2.4. Структура и электрофизические свойства полимеров	57
2.5. Создание устройств молекулярной электроники на основе синтеза линейных и разветвленных высокомолекулярных систем	60
2.6. Упорядоченные молекулярные пленки на поверхности твердых тел	62
2.7. Принципы самоорганизации отдельных молекулярных компонентов	75
Глава III. Электроника молекулярных систем на поверхности полупроводников	80
3.1. Электронно-возбужденные молекулы органических красителей на поверхности полупроводников	81
3.2. Возможные пути диссипации энергии возбужденных адсорбированных молекул	90
3.3. Электронные спектры поглощения и люминесценции	101
3.4. Влияние гетерогенности поверхности полупроводников на спектры флуоресценции адсорбированных молекул красителей	111
Глава IV. Принципы построения действующих и перспективных устройств молекулярной электроники	127
4.1. Возможности применения упорядоченных органических пленок при создании устройств молекулярной электроники	127

4.2. Комбинированные сенсоры с использованием молекулярных систем	130
4.3. Запоминание и хранение информации в молекулярных системах ...	144
4.4. Принципы работы устройств для преобразования информации	151
4.5. Проблема ввода-вывода информации в устройствах молекулярной электроники.....	157
Заключение.....	162
Рекомендуемая литература	164
Новые издания по дисциплине «Микроэлектроника» и смежным дисциплинам	166

ПРЕДИСЛОВИЕ

Предлагаемое учебное пособие написано на основе курса лекций, прочитанных авторами на физическом факультете МГУ им. М. В. Ломоносова и в Ульяновском филиале МГУ. Данный курс включен также в число основных курсов, читаемых для студентов и аспирантов учебно-научного центра "Химия и физика полимеров и тонких органических пленок", созданного в рамках программы "Интеграция" на базе физического факультета и факультета ВМК МГУ, Института кристаллографии РАН, Института элементоорганических соединений РАН и ряда других научных и учебных организаций.

В книге рассмотрен широкий круг вопросов, касающихся механизмов передачи и преобразования информации в молекулярных системах. Наряду с транспортом электронов рассмотрены имеющие большое значение в функционировании устройств молекулярной электроники безызлучательный перенос энергии, экситонные и солитонные процессы. Детально описана возможная элементная база устройств молекулярной электроники и технологические приемы синтеза наноструктур, используемых в таких устройствах. Рассмотрены вопросы электроники молекулярных систем на поверхности полупроводников, а также принципы построения действующих и перспективных устройств молекулярной электроники.

Книга предназначена для студентов старших курсов, аспирантов и научных работников физических специальностей. Ряд разделов может заинтересовать химиков, биофизиков, биохимиков и других специалистов, сталкивающихся в своих исследованиях с проблемами физики молекулярных нанометрических систем, тонких пленок и межфазных границ.

Авторы выражают глубокую благодарность профессорам кафедры общей физики и молекулярной электроники П. К. Кашкарову и В. Ф. Киселеву, взявшим на себя труд детально ознакомиться с этой книгой и высказавшим ценные замечания, а также всем коллегам по кафедре, участвовавшим в дискуссиях по обсуждающимся в книге вопросам.

В результате изучения курса студент должен:

знать

- место и роль общих вопросов науки в научных исследованиях;
- современные проблемы физики, химии, математики;
- теоретические модели фундаментальных процессов и явлений в физике и ее приложениях;

- принципы симметрии и законы сохранения;
- новейшие открытия естествознания;
- постановку проблем физико-химического моделирования;
- о взаимосвязях и фундаментальном единстве естественных наук;

уметь

- эффективно использовать на практике теоретические компоненты науки: понятия, суждения, умозаключения, законы;
- представить панораму универсальных методов и законов современного естествознания;

- работать на современном экспериментальном оборудовании;
- абстрагироваться от несущественных влияний при моделировании реальных физических ситуаций;

- планировать оптимальное проведение эксперимента;

владеть

- планированием, постановкой и обработкой результатов физического эксперимента;

- научной картиной мира;
- навыками самостоятельной работы в лаборатории на современном экспериментальном оборудовании;
- математическим моделированием физических задач.

Г. С. Плотников, В. Б. Зайцев

Рекомендуемая литература

1. *Агринская, Н. В.* Молекулярная электроника / Н. В. Агринская. — СПб. : Изд-во СПбГПУ, 2004. — 110 с.
2. Введение в молекулярную электронику / под ред. В. Г. Лидоренко. — М. : Энергоиздат, 1984.
3. *Вовна, В. И.* Электронная структура органических соединений / В. И. Вовна. — М. : Наука, 1991. — 267 с.
4. *Войтович, И. Д.* Нанозлектронная элементная база информатики. Качественно новые направления / И. Д. Войтович, В. М. Корсунский. — М. : «Национальный Открытый Университет “ИНТУИТ”», 2016. — 323 с.
5. *Елисеев, А. А.* Функциональные наноматериалы / А. А. Елисеев, А. В. Лукашин ; под ред. Ю. Д. Третьякова. — М. : ФИЗМАТЛИТ, 2010. — 456 с.
6. *Лен, Ж.-М.* Супрамолекулярная химия. Концепции и перспективы / Ж.-М. Лен. — Новосибирск : Наука, 1998.
7. *Лозовский, В. Н.* Нанотехнология в электронике. Введение в специальность / В. Н. Лозовский, Г. С. Константинова, С. В. Лозовский. — СПб. : Лань, 2008. — 336 с.
8. Нанотехнологии. Азбука для всех / под ред. Ю. Д. Третьякова. — М. : Физматлит, 2008. — 368 с.
9. Научные основы нанотехнологий и новые приборы : пер. с англ. / под ред. Р. Келсалл, И. Хемли, М. Джиогхеган. — М. : Интеллект, 2008. — 800 с.
10. *Плотников, Г. С.* Физические основы молекулярной электроники / Г. С. Плотникова, В. Б. Зайцев. — М. : Изд-во МГУ, 2000. — 164 с.
11. *Петти, М.* Молекулярная электроника : пер. с англ. / М. Петти. — М. : Интеллект, 2008. — 898 с.
12. *Поуп, М.* Электронные процессы в органических кристаллах. Т. 1 / М. Поуп, В. Свенберг. — М., Мир, 1985.
13. *Пул-мл., Ч. Ф.* Нанотехнологии : пер. с англ. / Ч. Пул-мл., Ф. Оуэнс. — М. : Техносфера, 2007. — 375 с.
14. *Рамбиди, Н. Г.* Нанотехнологии и молекулярные компьютеры / Н. Г. Рамбиди. — М. : Физматлит, 2007. — 256 с.
15. *Симон, Ж.* Молекулярные полупроводники / Ж. Симон, Ж. Э. Андре. — М. : Мир, 1988.
16. *Симон, Ж.* Молекулярные полупроводники. Фотоэлектрические свойства и солнечные элементы : пер. с англ. / Ж. Симон, Ж. Ж. Андре. — М. : Мир, 1988. — 344 с.

17. Словарь нанотехнологических связанных с нанотехнологиями терминов. URL: <http://thesaurus.rusnano.com/wiki/9/>.
18. *Старосельский, В. И.* Физика полупроводниковых приборов микроэлектроники : учебник для академического бакалавриата / В. И. Старосельский. — М. : Издательство Юрайт, 2016. — 463 с.
19. *Стид, Дж. В.* Супрамолекулярная химия. Т. 2 / Дж. В. Стид, Дж. Л. Этвуд. — М. : Академкнига, 2007.
20. *Фахльман, Б. Д.* Химия новых материалов и нанотехнологии / Б. Д. Фахльман. — М. : Интеллект, 2011. — 464 с.
21. *Цао, Г.* Наноструктуры и наноматериалы. Синтез, свойства и применение : пер. с англ. / Г. Цао, И. Ван ; под. ред. В. Б. Зайцева. — М. : Научный мир, 2012. — 516 с.
22. *Щука, А. А.* Нанозлектроника / А. А. Щука. — М. : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2012. — 349 с.
23. *Щука, А. А.* Электроника. В 4 ч. Часть 4. Функциональная электроника : учебник для академического бакалавриата / А. А. Щука, А. С. Сигов ; отв. ред. А. С. Сигов. — 2-е изд., испр. и доп. — М. : Издательство Юрайт, 2017. — 183 с.
24. *Эггинс, Б.* Химические и биологические сенсоры / Б. Эггинс. — М., 2005.
25. *Biosensor Principles and Applications* / eds. L. J. Blum, P. R. Coulet. — N. Y. : Marcel Dekker, 1991.
26. *Kaminuma, T.* Biocomputers: the next generation from Japan. Chapman and Hall / T. Kaminuma, G. Matsumoto. — London ; N. Y., 1991.
27. *Mandelis, A.* Physics, Chemistry and Technology of Solid State Gas Sensor Devices. Chemical analysis / A. Mandelis, C. Christofides. — N. Y. : J. Wiley, 1993. — V. 125.
28. *Molecular electronics-science and technology: engineering foundation Congress* / eds. A. Aviram, M. Ratner. — N. Y., 1998. — 372 p.
29. *Semiconductor sensors* / ed. S. M. Sze. — N. Y. : J. Wiley, 1994.
30. *Sensors: A Comprehensive Survey. Vol. 2, 3. Chemical and Biochemical Sensors* / W. Gopel [et al.]. — N. Y. : VCH, 1992.