

Н.И. Татаренко  
В.Ф. Кравченко

АВТОЭМИССИОННЫЕ  
НАНОСТРУКТУРЫ  
И ПРИБОРЫ  
НА ИХ ОСНОВЕ



МОСКВА  
ФИЗМАТЛИТ®  
2006

УДК 537.53

ББК 30.61

Т 23

Татаренко Н. И., Кравченко В. Ф. **Автоэмиссионные наноструктуры и приборы на их основе.** — М.: ФИЗМАТЛИТ, 2006. — 192 с. — ISBN 5-9221-0695-3.

В книге дан анализ современного состояния и тенденций развития вакуумной микро- и нанозлектроники. Рассмотрены физико-химические основы процесса создания нового класса автоэмиссионных наноструктур на базе нанопористого анодного оксида алюминия. Приведены результаты исследований их геометрических параметров, элементного состава и эмиссионных характеристик. Представлена принципиально новая интегральная технология создания наноструктурных автоэлектронных микроприборов и систем их межсоединений на основе тонких пленок вентильных металлов и их анодных оксидов. Изложены физические основы процедуры моделирования и расчета характеристик этих микроприборов. Приведены их экспериментальные и расчетные характеристики.

Предназначается для научных и инженерно-технических работников, аспирантов и студентов старших курсов, специализирующихся в области физической электроники, микро- и нанозлектроники.

Рецензенты:

1. Заслуженный деятель науки РФ, доктор физико-математических наук, профессор В. В. Мериакри, ИРЭ РАН.

2. Доктор физико-математических наук, профессор Е. П. Шешин, Московский физико-технический институт.

---

Научное издание

*ТАТАРЕНКО Николай Иванович*

*КРАВЧЕНКО Виктор Филиппович*

## **АВТОЭМИССИОННЫЕ НАНОСТРУКТУРЫ И ПРИБОРЫ НА ИХ ОСНОВЕ**

Редактор *Е.С. Артоболевская*

Оригинал-макет: *О.А. Кузнецов*

Оформление переплета: *А.Ю. Алехина*

Подписано в печать 13.03.06. Формат 60×90/16. Бумага офсетная. Печать офсетная.

Усл. печ. л. 12. Уч.-изд. л. 13,2. Тираж 500 экз. Заказ № 3195

Издательская фирма «Физико-математическая литература»

МАИК «Наука/Интерпериодика»

117997, Москва, ул. Профсоюзная, 90

E-mail: [fizmat@maik.ru](mailto:fizmat@maik.ru), [fmlsale@maik.ru](mailto:fmlsale@maik.ru);

<http://www.fml.ru>

Отпечатано с готовых диапозитивов

в ППП «Типография «Наука»

121099, г. Москва, Шубинский пер., 6

ISBN 5-9221-0695-3



9 785922 106955

© ФИЗМАТЛИТ, 2006

ISBN 5-9221-0695-3

© Н. И. Татаренко, В. Ф. Кравченко, 2006

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие . . . . .	5
Введение . . . . .	7
<b>Глава 1. Анализ современного состояния и тенденций развития вакуумных автоэлектронных микроприборов . . . . .</b>	<b>9</b>
§ 1.1. Существующие конструктивно-технологические принципы создания автоэмиссионных катодов . . . . .	10
§ 1.2. Вакуумные автоэлектронные микроприборы . . . . .	22
§ 1.3. Автоэмиссионные наноструктуры . . . . .	30
1.3.1. Автоэмиссионные матрицы из нанопроводов (31).	
1.3.2. Углеродно-нанотрубчатые автоэмиссионные матрицы (35).	
1.3.3. Выводы и перспективы развития (38).	
<b>Глава 2. Физико-технологические принципы создания наноструктурных автоэмиссионных матриц на основе тонких пленок вентильных металлов . . . . .</b>	<b>40</b>
§ 2.1. Физико-химические основы создания автоэмиссионных матриц . . . . .	40
§ 2.2. Микрогеометрия и стехиометрия оксидно-титановых матриц нанэмиттеров . . . . .	46
2.2.1. Методика проведения эксперимента (46). 2.2.2. Результаты электронной микроскопии (48). 2.2.3. Результаты оже-электронной спектроскопии (52).	
§ 2.3. Вольт-амперные характеристики наноструктурных автоэмиссионных матриц . . . . .	57
<b>Глава 3. Интегральная технология создания тонкопленочных наноструктурных автоэлектронных микроприборов . . . . .</b>	<b>68</b>
§ 3.1. Технология изготовления автоэлектронных микротриодов . . . . .	69
§ 3.2. Базовые процессы анодного окисления тонкопленочных структур вентильных металлов . . . . .	92
3.2.1. Выбор оптимального режима процесса плотного анодирования алюминия (93). 3.2.2. Процессы локального сквозного анодного окисления тонкопленочных структур вентильных металлов (102).	

---

§ 3.3. Электрофизические характеристики изоляционных компонентов автоэлектронных микроприборов . . . . .	112
3.3.1. Оборудование и методика проведения испытаний (112).	
3.3.2. Методика изготовления тестовых структур и результаты испытаний (113).	
§ 3.4. Система межсоединений для наноструктурных автоэлектронных микроприборов . . . . .	123
3.4.1. Технология изготовления (123). 3.4.2. Электрофизические характеристики (130). 3.4.3. Устойчивость к электромиграции (132).	
<b>Глава 4. Физические основы моделирования и расчета характеристик наноструктурных автоэлектронных микроприборов. . . . .</b>	<b>135</b>
§ 4.1. Постановка задачи . . . . .	136
§ 4.2. Математическое описание основных физических процессов. . . . .	138
§ 4.3. Обсуждение полученных уравнений . . . . .	143
§ 4.4. Алгоритм анализа и расчета характеристик автоэмиссионных структур и микроприборов. . . . .	146
<b>Глава 5. Характеристики тонкопленочных наноструктурных автоэлектронных микроприборов. . . . .</b>	<b>151</b>
§ 5.1. Диодные структуры . . . . .	151
§ 5.2. Катодно-сеточные элементы. . . . .	154
§ 5.3. Триодные структуры. . . . .	158
5.3.1. Вольт-амперные характеристики (158). 5.3.2. Дифференциальные параметры (162). 5.3.3. Требования к вакууму (169). 5.3.4. Быстродействие (171). 5.3.5. Степень интеграции (175).	
Список литературы . . . . .	178