

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Пензенский государственный университет» (ПГУ)

А. Н. Головяшкин

Тонкоплёночная электроника

Допущено редакционно-издательским советом
ФГБОУ ВО «Пензенский государственный университет»
в качестве учебника для обучающихся высших учебных
заведений по направлениям подготовки
11.03.04 «Электроника и наноэлектроника»
и 28.03.01 «Нанотехнологии и микросистемная техника»
по дисциплине «Тонкопленочная электроника»

Пенза
Издательство ПГУ
2022

УДК 621.384(075.8)

Г61

Р е ц е н з е н т ы :

доктор физико-математических наук, профессор,
декан факультета измерительной техники и электроники
Пензенского государственного университета

В. Д. Кревчик;

кандидат технических наук,
генеральный директор Научно-производственного
предприятия «Сонар» (г. Пенза)

А. Ю. Доросинский;

кандидат технических наук,
заместитель генерального директора по производству
Научно-исследовательского института
физических измерений (г. Пенза)

С. И. Торгашин

Головяшкин, Алексей Николаевич.

Г61 Тонкоплёночная электроника : учебник / А. Н. Голо-
вяшкин. – Пенза : Изд-во ПГУ, 2022. – 284 с.

ISBN 978-5-907600-05-8

Рассмотрены тонкоплёночные элементы и устройства электрон-
ной и микросистемной техники. Приведены необходимые справоч-
ные данные для проведения расчётов и проектирования гибридных
тонкоплёночных интегральных микросхем и микросборок. Дано опи-
сание некоторых технологических операций, которые определяют
элементы будущей конструкции изделия.

Издание подготовлено на кафедре «Нано- и микроэлектроника»
Пензенского государственного университета и предназначено для
обучающихся по направлениям подготовки 11.03.04 «Электроника
и наноэлектроника» и 28.03.01 «Нанотехнологии и микросистемная
техника», а также других направлений, образовательные программы
которых предусматривают изучение тонкоплёночной электроники,
и может быть полезно для инженеров, занимающихся разработкой
различных устройств на основе тонкоплёночных элементов.

УДК 621.384(075.8)

ISBN 978-5-907600-05-8

© Пензенский государственный
университет, 2022

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	6
1. ТОНКОПЛЁНОЧНЫЕ РЕЗИСТОРЫ	7
1.1. Электрические параметры и характеристики тонкоплёночных резисторов	7
1.2. Порядок расчёта тонкоплёночных резисторов	10
1.3. Расчёт и проектирование тонкоплёночных резисторов простой формы	14
1.4. Конструкции тонкоплёночных резисторов сложной формы	16
1.5. Расчёт и проектирование тонкоплёночных резисторов типа «меандр»	23
1.6. Конструкции тонкоплёночных резисторов высокой точности с плавной подгонкой	25
1.7. Расчёт и проектирование тонкоплёночных резисторов высокой точности с дискретной подгонкой ...	42
1.8. Расчёт и проектирование контактных площадок мощных тонкоплёночных резисторов	49
1.9. Расчёт и проектирование тонкоплёночных резисторов с центральной контактной площадкой	57
2. ТОНКОПЛЁНОЧНЫЕ КОНДЕНСАТОРЫ	63
2.1. Конструкции тонкоплёночных конденсаторов	65
2.2. Расчёт и проектирование тонкоплёночных конденсаторов	68
2.3. Расчёт и проектирование тонкоплёночных конденсаторов высокой точности	75
2.4. RC-структура с распределёнными параметрами	79
3. ТОНКОПЛЁНОЧНЫЕ ИНДУКТИВНОСТИ	83
3.1. Расчёт и проектирование тонкоплёночных индуктивностей	84
3.2. Расчёт и проектирование многослойных тонкоплёночных индуктивностей	86
4. ТОНКОПЛЁНОЧНЫЕ КОНТАКТНЫЕ ПЛОЩАДКИ И ПРОВОДНИКИ	89
4.1. Материалы и размеры тонкоплёночных проводников и контактных площадок	90
4.2. Размерные эффекты в тонких проводящих плёнках	99

4.3. Конструирование межсоединений и переходных контактов в тонкоплёночных изделиях электронной и микросистемной техники	106
4.4. Расчёт паразитных ёмкостных связей тонкоплёночных проводников	110
5. МЕТОДЫ МИКРОКОНТАКТИРОВАНИЯ ВЫВОДОВ К ТОНКОПЛЁНОЧНЫМ КОНТАКТНЫМ ПЛОЩАДКАМ	117
5.1. Метод термокомпрессионной микросварки	118
5.2. Метод микросварки давлением с косвенным импульсным нагревом	124
5.3. Метод контактной (электроконтактной) микросварки	127
5.4. Метод ультразвуковой микросварки	130
5.5. Микропайка	142
5.6. Проволочные материалы	146
6. ТОНКОПЛЁНОЧНЫЕ ГИБРИДНЫЕ ИНТЕГРАЛЬНЫЕ МИКРОСХЕМЫ И МИКРОСБОРКИ	150
6.1. Материалы подложек плат тонкоплёночных интегральных микросхем и микросборок	152
6.2. Основные конструкторские требования и технологические ограничения при фотолитографическом методе	158
6.3. Основные конструкторские требования и технологические ограничения при масочном методе	160
6.4. Конструкторские нормы и технические ограничения к размещению компонентов на плате	163
6.5. Разработка топологии тонкоплёночных гибридных интегральных схем	165
6.6. Тепловой расчёт микросхем	169
6.7. Состав конструкторской документации на тонкоплёночную гибридную микросхему	173
6.8. Монтаж микроплат и навесных компонентов тонкоплёночных интегральных микросхем и микросборок изделий электронной и микросистемной техники	181

7. ГЕРМЕТИЗАЦИЯ МИКРОЭЛЕКТРОННЫХ УСТРОЙСТВ	194
7.1. Конструктивно-технологические разновидности герметизации	194
7.2. Корпусная герметизация на основе неорганических материалов	196
7.3. Герметизация корпусов контактной сваркой	203
7.4. Герметизация сваркой давлением	214
7.5. Герметизация сваркой плавлением	220
7.6. Контроль герметичности корпусов тонкоплёночных микросхем	234
8. ТОНКОПЛЁНОЧНЫЕ УСТРОЙСТВА ОПТОЭЛЕКТРОНИКИ	239
8.1. Тонкоплёночные электролюминесцентные индикаторы	239
8.2. Тонкоплёночные электролюминесцентные экраны	248
8.3. Тонкоплёночные МДП (TFT) транзисторы	250
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	255
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	256
П р и л о ж е н и е 1. Конструктивные и технологические ограничения при проектировании тонкоплёночных элементов	257
П р и л о ж е н и е 2. Пример расчёта группы резисторов	266
П р и л о ж е н и е 3. Пример расчёта группы конденсаторов	271
П р и л о ж е н и е 4. Пример оформления конструкторской документации	274
П р и л о ж е н и е 5. Варианты технологических маршрутов производства плат тонкоплёночных гибридных интегральных схем	279

Учебное издание

Головяшкин Алексей Николаевич

Тонкоплёночная электроника

Редактор *Н. А. Сидельникова*

Технический редактор *Н. В. Иванова*

Компьютерная верстка *Н. В. Ивановой*

Дизайн обложки *А. Е. Журиной*

Подписано в печать 11.11.2022.

Формат 60×84¹/₁₆. Усл. печ. л. 16,51.

Тираж 48. Заказ № 606.

Издательство ПГУ

440026, г. Пенза, ул. Красная, 40.

Тел.: (8412) 66-60-49, 66-67-77; e-mail: iic@pnzgu.ru