

№ 6058



ИНЭП

Институт нанотехнологий,
электроники и приборостроения

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**
Федеральное государственное автономное образовательное
учреждение высшего образования
«ЮЖНЫЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

ОСНОВЫ ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОЙ ЛИТОГРАФИИ

Учебно-методическое пособие

Таганрог
2023

УДК 621.9.048.7:620.3(075.8)

ББК 32.852+32.844.1я73

О-75

Составители:

О.И. Ильин, М.В. Ильина, А.С. Коломийцев,
Ю.Ю. Житяева, М.С. Солодовник

О-75 Основы электронно-лучевой литографии : учебно-методическое пособие / сост. О.И. Ильин, М.В. Ильина, А.С. Коломийцев и др. ; Южный федеральный университет. – Таганрог, 2023. – 56 с.

В учебно-методическом пособии представлено теоретическое описание метода электронно-лучевой литографии, влияния конструктивных элементов электронной оптики на параметры экспонирования, а также применения различных типов резиста для получения структур с заданными геометрическими размерами методом электронно-лучевой литографии. Даны методические указания по работе с приставкой электронно-лучевой литографии Raith Elphy Plus на базе электронного микроскопа Nova Nanolab 600.

Пособие может быть использовано студентами, обучающимися по направлениям 28.04.01 «Нанотехнологии и микросистемная техника» и 28.03.02 «Наноинженерия», при изучении курсов «Микро- и нанотехнологии», «Наноматериалы: свойства и применение», а также при самостоятельной подготовке и переподготовке специалистов в области нано- и микроэлектроники.

Табл. 2 Ил. 32

УДК 621.9.048.7:620.3(075.8)

ББК 32.852+32.844.1я73

© Южный федеральный университет, 2023

Содержание

Введение	4
Теоретическая часть	5
Физические основы электронно-лучевой литографии	5
Параметры резистов	6
Типы резистов для ЭЛЛ	8
Позитивные резисты	9
Негативные резисты	11
Химически усиленные резисты	11
Проявление	12
Взаимодействие электрона с подложкой	13
Вторичные электроны	16
Обратное рассеяние	17
Эффект близости	18
Компоненты литографических систем на основе растровых электронных микроскопов	22
Источники электронов	26
Электронные линзы	29
Дефлекторы луча	33
Другие элементы электронной колонны	34
Компьютерное управление	36
Подвижка	38
Вакуумная система	39
Практическая часть	39
Процедура подготовки к процессу ЭЛЛ	40
Калибровка отклонения	40
Позиционирование и определение системы отсчета	48
Угловая коррекция	51
Коррекция нулевого положения системы координат	52
Контрольные вопросы	53
Заключение	53
Библиографический список	54

Теперь можно управлять перемещением подвижки используя координаты (U, V).

Контрольные вопросы

1. Какие свойства проявляет движущаяся электрон? Какая длина волны теоретически достижима для электронов?
2. Какие виды резистов Вы знаете? Что такое тон, чувствительность и контрастность резиста?
3. Назовите наиболее распространенные позитивные резисты для ЭЛЛ?
4. Назовите наиболее распространенные негативные резисты для ЭЛЛ?
5. В чем заключается особенность химически усиленных резистов? К чему приводит постэкспозиционный отжиг?
6. Какой проявитель считается идеальным?
7. Какие явления возникают при взаимодействии ускоренного электрона с твердым телом?
8. Какие электроны называются обратно рассеянными? Как они образуются?
9. Какие электроны называются вторичными? Как они образуются?
10. Что такое эффект близости? В чем особенность внутриформенного и межформенного взаимодействия?
11. Какие методы применяются для компенсации эффекта близости?
12. Какие виды aberrаций в ЭЛЛ вы знаете? Почему они образуются и как устраняются?
13. Какие виды источников электронов Вы знаете? В чем заключается принцип работы термоэлектронных катодов и катодов на основе холодной полевой эмиссии?
14. В чем заключается принцип работы электромагнитных линз?
15. В чем заключается принцип работы электростатических линз?
16. Каким образом реализован механизм устранения астигматизма?
17. Что такое бланкер луча? Как он работает и для чего нужен?
18. В чем особенность растрового и векторного сканирования? Достоинства и недостатки?

Заключение

В настоящем учебно-методическом пособии рассмотрены вопросы влияния конструктивных элементов электронной оптики на параметры экспонирования, а также применения различных типов резиста для получения

структур с заданными геометрическими размерами методом электронно-лучевой литографии. Даны методические указания по работе с приставкой ЭЛЛ Raith Elphy Plus на базе электронного микроскопа Nova Nanolab 600.

Библиографический список

1. Gemma R.S. Electron beam lithography for Nanofabrication // Universitat Autònoma de Barcelona. 2008.
2. Pala N., Karabiyik M. Electron Beam Lithography (EBL) // Encyclopedia of Nanotechnology (ed. by V. Bhushan), 2016. p. 1033-1057, DOI: 10.1007/978-94-017-9780-1.
3. Owen G. Electron Lithography for the Fabrication of Microelectronic Devices // Reports on Progress in Physics. 1985, 48 (6), p. 795-851.
4. Yasuda M., Kawata H., Murata K., Hashimoto K., Hirai Y., Nomura N. Resist Heating Effect in Electron-Beam Lithography // Journal of Vacuum Science & Technology B, 1994, 12 (3), p. 1362-1366.
5. Goldstein J., et.al. Scanning Electron Microscopy and X-ray Microanalysis (3rd Edition) // Springer Science. 2003. ISBN 0-306-47292-47299.
6. Сейсян Р.П. Нанолитография в микроэлектронике (Обзор) // Журнал технической физики. 2011. Т.81. Вып. 8. с.1-14.
7. Kozawa T., Yamamoto H., Sacki A., Tagawa S. Effects of low energy electrons on pattern formation in chemically amplified resist // Journal of Photopolymer Science and Technology, 2006. 19 (3). p. 361-366.
8. Hambitzer A., Olziarsky A., Saranovac T., Bolognesi C. R. Comparison of Charge Dissipation Layers and Dose Sensitivity of PMMA Electron Beam Lithography on Transparent Insulating Substrates such as GaN // CS MANTECH 2017, 2017, p. 1-3.
9. Brewer G. Electron-Beam Technology in Microelectronic Fabrication // Elsevier, 1980, ISBN: 978-0-12-133550-2
10. Rai-Choudhury P. Handbook of Microlithography. Micromachining and Microfabrication // SPIE Press. 1997, Vol. 1.
11. Lee S., Cook B. PYRAMID – a hierarchical, rulebased approach toward proximity effect correction – part II: correction // IEEE Trans. Semicond. Manuf. 1998, 11(1), p. 117–128.
12. Braun H.-G. Electron beam lithography // Lab Course for Biomolecular Engineering and Biophysics, Technical University Dresden, 2008.
13. Chen E. Introduction to Nanofabrication // Course Applied Physics 294r, Harvard University, 2004.

14. Grant D.J. *Electron Beam Lithography: From Past to Present // Course ECE 730-10*, University of Waterloo, 2003.

15. Wu C. S., Makiuchi Y., Chen C. *High-energy Electron Beam Lithography for Nanoscale Fabrication // Lithography*. MDPI, Basel, 2010, ISBN: 978-953-307-064-32010, DOI: 10.5772/8179

Учебно-методическое издание

Ильин Олег Игоревич

Ильина Марина Владимировна

Коломийцев Алексей Сергеевич

Житяева Юлия Юрьевна

Солодовник Максим Сергеевич

ОСНОВЫ ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОЙ ЛИТОГРАФИИ

Подписано в печать 27.01.2023 г.

Бумага офсетная. Формат 60×84 1/16. Тираж 30 экз.

Усл. печ. лист. 3,26. Уч.-изд. л. 2,33. Заказ № 8895.

Отпечатано в отделе полиграфической, корпоративной и сувенирной продукции
Издательско-полиграфического комплекса КИБИ МЕДИА ЦЕНТРА ЮФУ,
344090, г. Ростов-на-Дону, пр. Стачки, 200/1, тел. (863) 243-41-66.