

Краткая неофициальная версия программы учебной дисциплины

Название дисциплины	НИС: Технология микро- и наноразмерных устройств
Автор(ы) программы	Ильин Алексей Сергеевич
Курс	3 курс
Модули	1, 2
Объём курса	1 семинар в неделю
Элементы контроля	Два коллоквиума, доклад перед аудиторией, устный экзамен

1. Аннотация курса

Курс посвящен современным нанотехнологиям. Целями освоения дисциплины являются получение всесторонних знаний о современных методах создания приборов микро- и нанoeлектроники, аддитивной и субтрактивной технологии, включая различные виды литографии, способы получения тонких пленок и связанные с этим дополнительные процессы, об используемом для этого оборудовании и материалах, об особенностях процессов для различных крупных групп приборов, в том числе, полупроводниковых и сверхпроводниковых, нюансах формирования электрических контактов. Также курс включает в себя анализ технологических разделов современной научной литературы.

2. Программа курса

Чистая комната: введение. Формирование тонких пленок. Субтрактивная и аддитивная технология. Подготовка подложек. Формирование и удаление резистных масок. Контроль качества сформированных слоев. Оборудование.

Вакуумная гигиена. Подложки. Изготовление. Термическое окисление. RCA-очистка.

Формирование масок. Физико-химические основы литографии. Оптическая литография. Электронно-лучевая литография. Наноимпринтная литография. Термическая зондовая литография. Другие виды: ионная, рентгеновская. 3D-литография.

Резисты. Методы нанесения. Позитивные и негативные резисты. Резисты с химическим усилением. Многослойные резистные маски. Экспонирование резиста. Проявление и его контроль. Удаление резистных масок.

Формирование тонких пленок. Электроосаждение. PVD-осаждение: термическое и электронно-лучевое испарение, лазерная абляция, катодное и магнетронное распыление. Модель структурных зон. CVD-осаждение: гетерогенное и гомогенное, атомно-слоевое осаждение. Золь-гель технология.

Травление. Жидкостное травление. Сухое травление: ионное, реактивное ионное. Травление ионным пучком.

Многослойная литография. Совмещение слоев. Химико-механическая планаризация. Изоляция слоев. Дефекты литографии.

Формирование контактов. Физические основы. Омические и выпрямляющие контакты. Материалы для контактов. Термическая и химическая обработка. Особенности геометрии контактов.

3. Элементы контроля и правила оценивания

Коллоквиум: в течение семестра предусмотрены 2 коллоквиума по научным публикациям на тему технологии наноэлектроники. На первом коллоквиуме студенты разбирают публикации, розданные преподавателем. Перед вторым коллоквиумом студенты самостоятельно проводят поиск публикации на определенную тему и утверждают ее у преподавателя. На подготовку к каждому коллоквиуму отводится 2-4 недели.

Доклад перед аудиторией на заданную тему. На подготовку доклада отводится 4 недели.

Устный экзамен в формате ответа на два вопроса билета по пройденному на занятиях материалу.

Правила выставления оценки: сумма за первый коллоквиум (25%), второй коллоквиум (35%), доклад (15%) и устный экзамен (25%).

4. Примеры заданий элементов контроля

Пример статьи для коллоквиума: Sourribes, M. J. L., Isakov, I., Panfilova, M., & Warburton, P. A. (2013). Minimization of the contact resistance between InAs nanowires and metallic contacts. *Nanotechnology*, 24(4), 045703. doi:10.1088/0957-4484/24/4/045703

Пример темы для доклада: «Резисты для электронно-лучевой литографии: достоинства и недостатки».

Пример вопроса устного экзамена: 1. Эффект близости. 2. Опишите процессы, когда электронно-лучевая литография неприменима.

5. Рекомендованная литература и ссылки по теме

5.1. Основной список

1. Киреев, В.Ю. Нанотехнологии в микроэлектронике. Нанолитография - процессы и оборудование : учебно-справочное руководство. ИД "Интеллект". 2016. ISBN 978-5-91559-215-4
2. Физико-химические основы микро - и наноэлектроники / А.П. Алехин. — Учеб. пособие. — М.: Можайский полиграфический комбинат оформление, 2011. — 184 с. — ISBN 978-5-8493-0202-7
3. Берлин, Е.В. Ионно-плазменные процессы в тонкопленочной технологии : справочник / Е.В. Берлин, Л.А. Сейдман. – Москва : Техносфера, 2010. – 528 с. : ил.,табл., схем. – (Мир материалов и технологий). – ISBN 978-5-94836-222-9
4. Технология тонких пленок. Том 1 и 2. Справочник. / Под редакцией Л. Майссела, Р. Глэнга. Перевод с английского под редакцией М.И. Елинсона, Г.Г. Смолко. — М.: Советское радио, 1977. — 1432 с.

5.2. Дополнительный список

1. *Fabrication Engineering at the Micro- and Nanoscale* / Stephen A. Campbell. - Oxford University Press, 2013. - 671 с. - ISBN 9780199861224.
2. *Handbook of Deposition Technologies for Films and Coatings: Science, Applications and Technology* / Peter M. Martin. - Elsevier, 2010. - 912 с. - ISBN 9780815520313.