

Лабораторная работа **"Сканирующий электронный микроскоп и литография"**

1. Цель работы, оборудование и материалы.

Задачи настоящего лабораторного практикума - получить навыки работы на электронном литографе, выполненном на основе электронного сканирующего микроскопа JEOL-840. Для этого необходимо:

- изучить основы управления электронным сканирующим микроскопом JEOL-840;
- освоить программу Nanomaker, используемую для создания шаблонов структур электронной литографии;
- подготовить подложку для электронной литографии – нанести слой полимера (резист), чувствительного к потоку электронов, на кремниевую пластину;
- выполнить электронную литографию при помощи программы Nanomaker нескольких простых (тестовых) объектов и идентификатора подложки (имя автора и текущая дата) по готовым шаблонам на подготовленной подложке, при этом не допустить засветки резиста и выполнить полное проявление зарисованных структур.

2. Экспериментальная часть.

Подготовка подложек для электронной литографии.

Для изготовления подложки используются ультразвуковая ванна, электроплитка с электронным управлением (hot plate), центрифуга с вакуумным насосом для фиксации пластины во время вращения, дозатор для нанесения определённого количества резиста на пластину, секундомер. Блок питания и задания скорости вращения центрифуги, вакуумный насос расположены под столом. Вентиль вакуумного насоса расположен рядом с центрифугой на столе. Включается центрифуга ногой педалью, расположенной под столом.

Перед началом работы включите блок питания центрифуги, вакуумный насос, электроплитку. На электроплитке установите температуру 130°C.

Последовательность изготовления подложки:

- очистка поверхности кремниевой пластины растворителями в ультразвуковой ванне;
- нанесение резиста на пластину;
- сушка и полимеризация резиста резиста.

Выберите из имеющихся пластину оксидированного кремния размером $\approx 7 \times 7$ мм, затем произведите её последовательную очистку в ультразвуковой ванне в следующих растворителях:

- 1) ацетон - 2 мин
- 2) изопропиловый спирт – 2 мин
- 3) ацетон - 2 мин
- 4) изопропиловый спирт – 2 мин

5) промыть подложку струёй изопропилового спирта.

При смене ванночек с растворителями нельзя допускать их испарения с пластины кремния, т. е. на пластине всегда должен быть слой жидкости.

После 5-й операции положите пластину на центрифугу, старайтесь выровнять её по центру, зафиксируйте её вакуумным насосом, установите скорость вращения 6000 об/мин, включите центрифугу, секундомер и выдержите пластину 30 с для удаления изопропилового спирта. Выключите центрифугу. Отключите вакуумный насос.

Поместите пластину кремния на электроплитку и выдержите её там 30 с для полного удаления остатков растворителя.

Резист наносится на кремниевую пластину при помощи центрифуги при определённой скорости вращения. Толщина наносимого резиста зависит от скорости центрифуги и от его вязкости.

В лабораторной работе используется резист марки РММА 950К А3. Скорость вращения центрифуги 6000 об/мин.

Для нанесения резиста возьмите подготовленную кремниевую пластину, поместите ее на центрифугу, выровняйте её и зафиксируйте при помощи вакуумного насоса.

Возьмите дозатор и наберите в него резист РММА 950К А3, аккуратно выдавите небольшое количество резиста в центр пластины. Включите центрифугу и секундомер. Выдержите 30 с и выключите центрифугу. Отключите вакуумный насос.

Снимите пластину и поместите её на электроплитку. При температуре 130°C выдержите её в течении 7 минут для сушки.

После выполнения этих операций подложка готова к электронной литографии, толщина резиста при этом методе составляет 100 нм.

Установка подложки в микроскоп.

Зафиксируйте подложку на столике, который устанавливается в электронный микроскоп. Сделайте на самом краю подложки царапину в резисте для того, чтобы по ней выполнить фокусировку электронного микроскопа. Привинтите столик с подложкой к устройству для транспортировки.

Рукоятки механизма перемещения столика с подложкой внутри микроскопа должны находиться в следующем положении:

Y =350 mm

X =250 mm

WD =39

Rotation = 000

При этом должны светиться две красные лампочки на корпусе механизма перемещения.

Т. к. в микроскопе высокий вакуум, то для введения внутрь столика применяется шлюзовая камера. Вставьте в шлюзовую камеру пластиковый диск

устройства для транспортировки, плотно одной рукой удерживайте его, нажмите кнопку со светящейся красной лампочкой рядом со шлюзовой камерой после чего начнётся её вакуумирование. При достижении рабочего вакуума погаснет одна из лампочек, после этого, повернув рукоятку шиберного клапана на 180° против часовой стрелки выведите перемещением рукоятки вправо клапан и поверните рукоятку на 180° по часовой стрелке, чтобы зафиксировать его. Переместите столик с подложкой в камеру микроскопа и поставьте его на держатель типа «ласточкин хвост». Старайтесь держать ручку для перемещения образца все время горизонтально. Отсоедините столик с подложкой от рукоятки устройства для перемещения (вращать ручку против часовой стрелки, пока она не отсоединится). Переместите ручку в шлюзовую камеру, закройте затвор. Нажмите снова красную кнопку на этот раз для напуска воздуха в шлюзовую камеру.

При этом поддерживайте диск устройства рукой во избежание его падения!!!

Настройка электронного микроскопа.

Убедитесь, что ручка FILAMENT повернута влево до упора. На главной панели микроскопа (рис. 1) нажмите красную кнопку Voltage On. Медленно, в течение минуты, выведите ток катода при помощи ручки FILAMENT до значения 100 по шкале тока катода и дальше так же медленно выводите до появления на экране микроскопа изображения.

Выводите ток до проявления второго пика яркости. При помощи ручки FOCUS COARSE настройте приблизительно фокус. Яркость и контрастность изображения можно регулировать ручками панели SE IMAGE: BRIGHT и CONT. Найдите изображение образца на экране. При помощи ручки MAGNIFICATION меняется размер изображения. По мере увеличения подстраивайте фокус ручкой FOCUS COARSE или FINE. Найдите царапину в резисте на образце, которую предварительно сделали. Постарайтесь как можно лучше сфокусироваться на ее краях. Если изображение получается не четким, размытым, искаженным, попробуйте убрать астигматизм при помощи ручек STIGMATOR X и Y, параллельно подстраивайте фокус. **Настройка выполняется только на краю подложки на сделанной царапине во избежании засветки остальной площади резиста!**

Можно посмотреть как меняется фокус при помощи кнопки WOBV и ручки AMPLITUDE. Как только удастся получить приемлемое изображение на экране (должны быть четко видны объекты размером 1 микрон), включите на выносном блоке тумблер в положение METER, при этом ток пучка измеряется пикоамперметром, измерьте ток пучка. При помощи ручек PROBE CURRENT COARSE и FINE выставьте нужный ток $(0.2 - 0.7) \times 10^{-10}$ А.

Переместитесь на образце в то место, где хотите нарисовать структуру, переключите тумблер слева на основной панели микроскопа в положение Lithography.

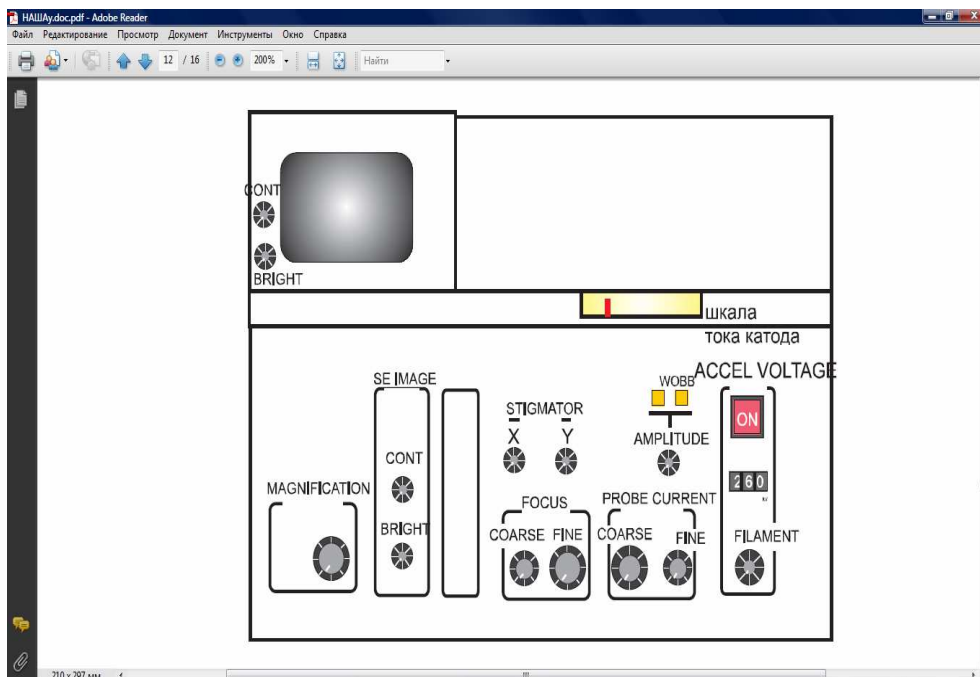


Рис.1. Схема передней панели электронного микроскопа.

Ручкой **MAGNIFICATION** выставите нужное увеличение. Микроскоп готов к экспонированию структуры.

Экспонирование.

Перед началом экспонирования необходимо определить чувствительность резиста подготовленной подложки, для чего выполняется дозовый тест.

Сначала необходимо загрузить в программе Nanomaker заготовленный ранее файл с параметрами. Файл параметров - это файл, содержащий калибровочные характеристики программы, установленные по эталонному образцу для каждого выбранного увеличения. Это делается из меню: **Options - Load Par**. Программа выдаст список файлов из которых необходимо выбрать файл, соответствующий выбранному увеличению.

Затем загружается подготовленный файл с объектами дозового теста. После того, как это будет сделано, необходимо ввести параметры резиста и ток пучка электронов. Это делается следующим образом: заходим в **Options – Exposure-Video**. В возникшем окне открываем вкладку **Times** и нажимаем кнопку **Recommended**. В появившемся окне (Рис. 2) выставите: толщину резиста **НО** в микронах, **Beam Current** и **Sensitivity** (чувствительность). Нажимаем **OK**.

В предыдущем окне открываем вкладку **Steps** и выставляем шаги по оси **X** и **Y** (**StepX** и **Step Y**). Шагом называется расстояние между точками (пикселями) в которых останавливается пучок электронов для экспонирования резиста при движении по запрограммированной линии. Чем меньше шаг, тем точнее получится зарисовать структуру, однако очень маленькими шагами сделать нельзя, т.к. имеется

ограничение по времени, в течение которого микроскоп засвечивает один пиксел. Оно не может быть меньше определенной величины. Для структур размером 5 микрон и выше можно ставить шаг 0.1 микрона. После того, как заданы шаги, идем снова во вкладку Times, нажимаем кнопку Calibrate и задаём времена, предложенные программой. Теперь все готово для экспонирования.

Нажимаем на мониторе кнопку Exposure. Предварительно можно оценить время экспонирования всей структуры, нажав кнопку Estimate Time. Если все параметры заданы правильно, то программа укажет рассчитанное время экспонирования. Если что-то не так, то программа выдаст сообщение об этом и придется менять либо шаги по X и Y, либо выставить другой ток или параметры резиста.

Для начала экспонирования нажмите кнопку Start.

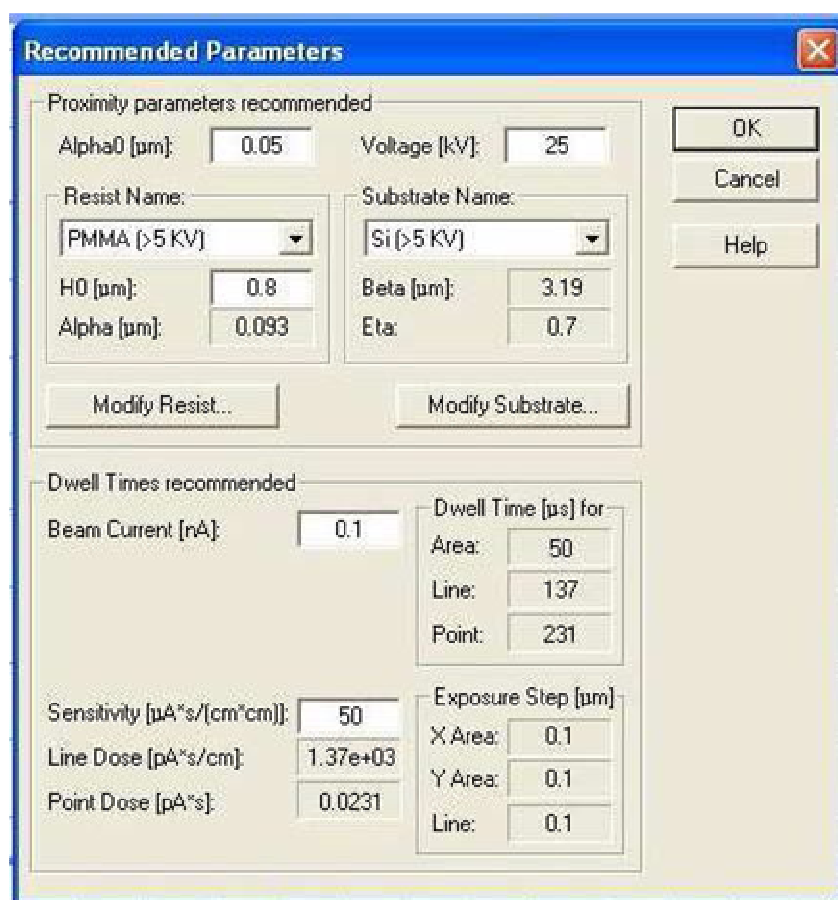


Рис. 2. Параметры экспонирования.

Выключение электронного микроскопа и проявление структуры. Определение чувствительности резиста.

После того, как закончилось экспонирование необходимо уменьшить увеличение, чтобы не допустить засветки всего рабочего поля, перевести тумблер на основной панели в положение SEI, медленно, в течение одной-двух минут, убрать ток накала катода ручкой FILAMENT; выключить ускоряющее напряжение

ACCEL VOLTAGE - красную кнопку. Переключить тумблер на выносном блоке в положение IMAGE.

Только после этого можно вынуть столик с экспонированной подложкой. Эта процедура аналогична размещению столика с подложкой в микроскопе и выполняется в обратном порядке.

После того, как подложку вынули из камеры микроскопа, её необходимо проявить. В качестве проявителя используется метил-изобутил-кетон (МИБК), разбавленный изопропанолом (IPA) в соотношении 1 МИБК : 3 IPA, а в качестве стоп-раствора - просто IPA. Время проявления экспонированной подложки - 2 мин, помывка в стоп-растворе 30 с.

Проявленную подложку необходимо внимательно рассмотреть в оптический микроскоп и определить оптимальную дозу экспонирования по форме и чистоте дна элементов дозового теста.

После этого подложка снова загружается в микроскоп и на ней производится экспонирование заданной структуры с установкой определённой чувствительности резиста.

Порядок выполнения работы.

- 1 Подготовка подложек с резистом.
- 2 Установка образца в микроскоп через шлюзовую камеру и получение его изображения.
- 3 Подготовка экспонирования дозового теста в программе Nanomaker.
- 4 Экспонирование дозового теста.
- 5 Проявление дозового теста.
- 6 Контроль при помощи оптического микроскопа. Выбор оптимальной дозы.
- 7 Повторная установка образца в микроскоп.
- 8 Установка параметров экспонирования заданной структуры в программе Nanomaker.
- 9 Экспонирование.
- 10 Проявление заданной структуры.
- 11 Контроль полученной структуры при помощи оптического микроскопа.

Содержание отчета.

1. Сведения о технологических режимах подготовки резистивной маски (нанесение, сушка, проявление) с указанием всех параметров и (если таковые были) описанием отклонений от методики.
2. Параметры, задаваемые в программе Nanomaker.
3. Изображения полученного дозового теста. Обоснование выбора дозы для экспонирования структуры.
4. Изображения полученной структуры.
5. Анализ результатов работы. Указать на конкретные технологические неточности и ошибки, если они были, их последствия и способы их устранения.