

ФОРМИРОВАНИЕ НАНОРАЗМЕРНЫХ ФОТОРЕЗИСТИВНЫХ МАСОК С ПОМОЩЬЮ СКАНИРУЮЩЕГО ЗОНДОВОГО МИКРОСКОПА

Н.Г. Лазарева*, О.В. Сергеев*, В.Н. Пономарь**, Г.Г. Чигирь**,
В.А. Ухов**, А.М. Козлов*, В.Е. Борисенко*

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники

**УП «Белмикросистемы» НПО «Интеграл»

XXI столетие уже сейчас по праву именуется эрой глобальной информатизации, так как прогресс современного общества в значительной степени определяется развитием информационных систем, широко внедряющихся в самые различные области человеческой деятельности. Постоянная тенденция увеличения скорости обмена информацией и ее объема приводит к необходимости создания новых электронных приборов с улучшенными показателями. Так, повышение степени интеграции электронных схем позволяет не только уменьшить геометрические размеры электронного прибора, но также повысить его быстродействие, информационную емкость, снизить энергопотребление и тепловыделение. В настоящее время актуальной задачей мировой микроэлектронной промышленности является переход к нанотехнологиям, позволяющим создавать электронные компоненты с размерами элементов порядка нескольких единиц или десятков нанометров. В силу принципиальных физических и технических ограничений традиционные технологические методы для этих целей неприменимы. Самым критическим методом при производстве микросхем на современном этапе является фотолитография. Ее предельные возможности по минимизации размеров создаваемых элементов ограничены половиной длины волны экспонирующего излучения, используемого для переноса требуемого изображения элемента с фотошаблона на фоторезистивную маску, что составляет 200–400 нм [1]. Улучшенные показатели, а именно минимальный размер до 60–80 нм обеспечивает электронно-лучевая литография [2]. Однако необходимость использования остросфокусированных потоков электронов с энергией 100-200 кэВ с одной стороны усложняет и значительно удорожает проведение такого процесса, а с другой стороны из-за процесса вторичной электронной эмиссии в электронорезисте не позволяет формировать элементы с размерами менее 60 нм. Преодолеть эти ограничения позволяет электронное экспонирование резиста туннельным электронным потоком, эмитируемым с зонда атомного силового микроскопа [3]. При этом минимальный воспроизводимый размер элементов, как показано в 1998 г. учеными Стэнфордского университета [4], может быть уменьшен до 30 нм. Применение сканирующей зондовой микроскопии (СЗМ) открывает новые возможности в развитии наноэлектроники, так как оно позволяет не только исследовать трехмерную топографию поверхности образца с атомарным разрешением и проводить неразрушающий микроанализ его электронных, магнитных, оптических и тепловых свойств по его поверхности, но также и модифицировать эти свойства локально, что может быть успешно использовано в процессе нанолитографии. С учетом низкой себестоимости процесса и оборудования изучение, внедрение и развитие метода нанолитографии на основе АСМ являются актуальными задачами микроэлектронной промышленности Республики Беларусь.

Целью данной работы явилась попытка формирования резистивных масок с шириной линий порядка 100 нм с использованием АСМ.

Работа проводилась с использованием аналитико-технологического комплекса (АТК) «Нанодизайнер», созданного на базе атомного силового микроскопа

Нанотоп-203 отечественного производства. Для изготовления образцов использовались кремниевые пластины КДБ-12 (100) с нанесенным фоторезистом Microposit-51813SP15 ф. Shipley (США), толщиной 100 нм.

Экспонирование резиста проводилось в динамическом режиме работы АСМ, при резонансной частоте колебания зонда в вертикальной плоскости порядка 68 кГц. Геометрия формируемого рисунка задавалась в виде набора параллельных линий. Напряжение, необходимое для экспонирования, подавалось от источника постоянного тока между зондом (отрицательный электрод) и подложкой (положительный электрод).

При проведении эксперимента было отмечено, что помехи, вносимые источником напряжения и измерительным осциллографом, примерно на 50% снижают воспроизводимость результатов и вносят дополнительные искажения в геометрию создаваемого рисунка (рис.1).

По своей основе литография на базе АСМ аналогична процессу электронно-лучевой литографии. Так, ширина формируемых линий зависит от радиуса закругления иглы (соответственно для электронно-лучевой литографии – диаметр луча), времени экспонирования и величины прикладываемого напряжения (энергия луча, доза экспонирования).

Первая серия экспериментов, подтверждающих вышесказанное, проводилась при изменении прикладываемого напряжения в диапазоне 20-50 В с шагом 1 В.

В таблице 1 приведены изображения сформированных линий в резистивном слое, экспонированном при различных режимах при нормальных условиях окружающей среды.

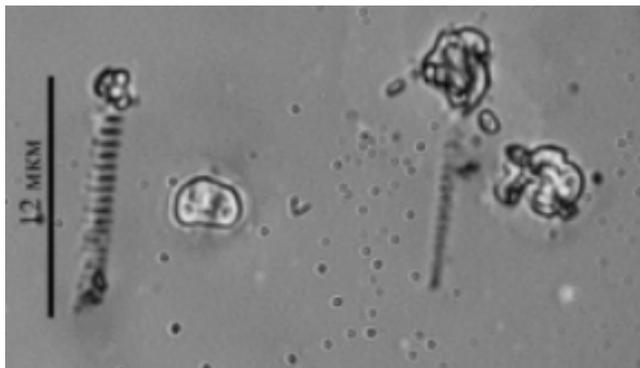
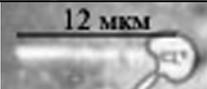


Рис.1. Искажения формируемой структуры, вносимые сетевой наводкой.

Таблица 1.

Результаты различных режимов экспонирования

Толщина резиста – 0,1 мкм Напряжение – 50 В Ток – 2 мкА 1000 ^x (Leica INM 100)	 Время экспонирования – 0,003мс	 Время экспонирования – 0,005мс
Толщина резиста – 0,1 мкм Напряжение – 20 В Ток – 0.63 мкА 1000 ^x (Leica INM 100)	 Время экспонирования – 0,003мс	 Время экспонирования – 0,005мс

Очевидно, что оптимальным режимом при данных условиях, является режим сканирования при приложенном напряжении порядка 20 В и времени сканирования 0,003 мс. Увеличение этих параметров приводит к ухудшению результатов опыта.

Также критическим параметром, определяющим минимальный размер формируемой наноструктуры, является радиус закругления острия зонда АСМ (Рис.2). Для исследования этого влияния была проведена серия экспериментов при одинаковом режиме экспонирования (прикладываемое напряжение – 5В, скорость сканирования – 0,003 мс), но с использованием зондов с различными радиусами закругления острия.

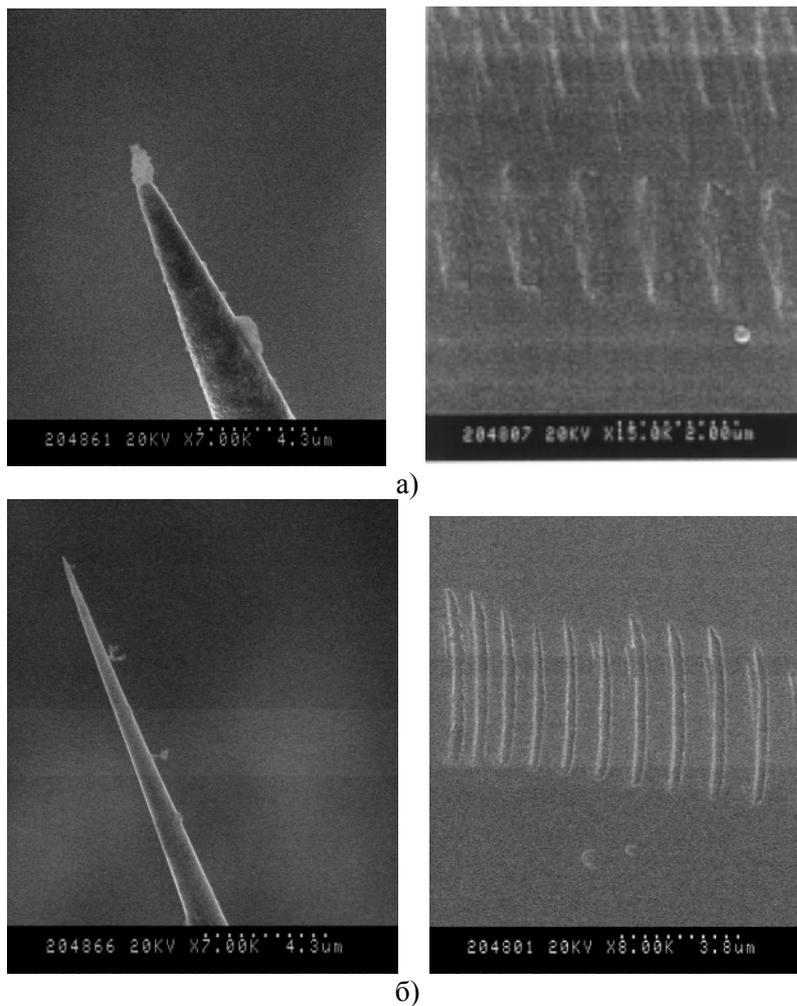


Рис. 2. Микрофотографии зондов и получаемых при их помощи рисунков в резисте. а) игла с радиусом закругления порядка 200 нм, ширина линий порядка 400 нм; б) игла с радиусом закругления порядка

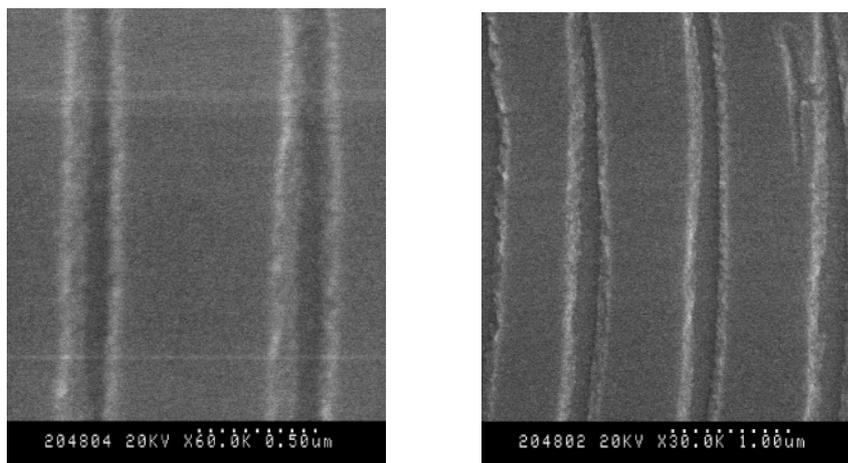


Рис. 3. Микрофотографии линий полученных с помощью АСМ (время сканирования 0,003 мс)

Резонансная частота колебаний зонда при этом могла незначительно меняться в диапазоне 65-70 кГц.

Из представленного рисунка видно, что чем меньше радиус закругления острия иглы, тем более тонкую линию возможно сформировать с ее помощью. Использование игл с радиусом закругления порядка 50 нм и экспонирование при напряжении порядка 2 В позволяет получать линии шириной порядка 100 нм в резисте толщиной 95-100 нм (рис. 3).

Проведенные исследования показали, что для уменьшения ширины воспроизводимых линий, получаемых с помощью АСМ в тонких слоях фоторезиста необходимо уменьшать величину напряжения приложенного к системе зонд-подложка (поглощенной энергии (заряда)) и время экспонирования (воздействия на единицу площади при сканировании). Ограничением является минимальная величина поглощенной энергии (заряда), необходимой для засветки резиста. Другим фактором, ограничивающим разрешение метода, является радиус закругления острия зонда.

Литература

1. У. Моро. Микролитография. М.: Мир, 1990.
2. Avramescu, A., A. Ueta, et al. (1998). Appl. Phys. Lett. 72(6): 716-719.
3. I. Matsuba, K. Matsumoto, IEEE Trans. Electron Devices ED-33, 1236 (1986).
4. Sugimura, H. and O. Takai (1999). J. Vac. Sci. Technol. 17(4): 1605-1608.