

Разработка методов атомно-силовой литографии для создания наноразмерных элементов

Н.В. Востоков, Д.Г. Волгунов, В.Ф. Дряхлушин,
А.Ю. Климов, В.В. Рогов, Л.В. Суходоев, В.И. Шашкин

Институт физики микроструктур РАН,
Нижний Новгород

Разработан метод атомно-силовой литографии для создания рисунка с характерными размерами отдельных элементов <100 нм. Метод включает нанесение на полупроводниковую структуру двухслойного покрытия полимер - металл, деформацию плёнки металла зондом атомно-силового микроскопа, плазмо-химическое травление полимера и травление полупроводника либо напыление металлических и/или диэлектрических элементов через созданную маску.

В последние годы возникло и интенсивно развивается новое направление сканирующей зондовой микроскопии – атомно-силовая литография. Данный метод является весьма перспективным и в некоторых приложениях успешно конкурирует с электронной литографией, т. к. позволяет с помощью недорогого и доступного инструмента создавать рисунок на поверхности образца с характерными размерами в несколько десятков нанометров. С его помощью были изготовлены одноэлектронный транзистор, работающий при комнатной температуре [1], а также полевой [2] и биполярный [3] транзисторы с крайне малыми размерами активных элементов. Большинство работ по атомно-силовой литографии посвящено изучению локальных процессов анодного окисления при использовании совмещённого сканирующего туннельного/атомно-силового микроскопа (СТМ/АСМ).

В данной работе разработан альтернативный метод атомно-силовой литографии, включающий нанесение рисунка нанометровых размеров на маскирующее покрытие зондом атомно-силового микроскопа и последующее перенесение его на полупроводниковую структуру. Этот метод позволяет работать с образцами из любых материалов, и, кроме того, расширяет возможности для создания различных наноэлементов на поверхности структуры.

Маскирующее покрытие на поверхности образца, на которое наносился рисунок, состояло из слоя полимера (полиформальдегида или поликарбоната) с толщиной <100 нм, покрытого тонкой плёнкой (<10 нм) легко деформируемого металла – индия или олова. Механические свойства такой системы позволяют реализовать её непластическую деформацию зондом атомно-силового микроскопа, действующим с силой $1\div 10$ мкН, на глубину, превышающую толщину металлической плёнки. Рисунок с характерными размерами <100 нм был получен как в контактной, так и в тейпинг-моду. Далее структура травилась в кислородной плазме для перенесения рисунка через полимерный слой на поверхность полупроводника, без изменения недеформированного зондом АСМ слоя. АСМ-изображения рельефа, полученного таким методом, показаны на рис. 1 и 2. Мы использовали изготовленную таким образом маску (рис. 2) для травления

поверхности кремния на глубину ~ 20 нм и напыления металлических контактов (молибден) толщиной ~ 20 нм. Изображение изготовленных таким образом наноконтактов, полученное с помощью сканирующего электронного микроскопа (СЭМ), приведено на рис. 3а (нормально к поверхности) и 3б (под углом 35°). Таким образом, методом атомно-силовой литографии изготовлены нанообъекты

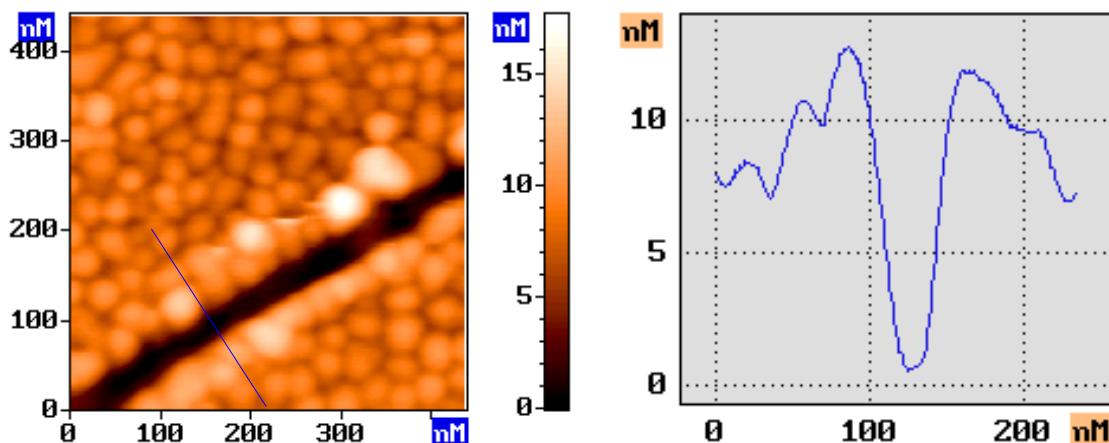


Рис. 1. Атомно-силовое изображение модифицированной структуры полимер-индий (линия) до плазмо-химического травления.

на поверхности полупроводника с характерными размерами $50 \div 100$ нм.

Формирование рельефа в структуре, состоящей из полимера и тонкой плёнки металла с низкой температурой плавления, возможно также с помощью горячего зонда АСМ. Структура, использованная в описанном выше эксперименте, применима и для модификации её горячим зондом АСМ. Температура плавления индия 156°C , что ниже температуры плавления полиформальдегида и поликарбоната. Нами реализованы данные эксперименты, в которых мы использовали зонд АСМ на основе заострённого оптического волокна, покрытого тонкой металлической плёнкой и который может быть нагрет без разрушения до 400°C . Зонд нагревался с помощью оптического излучения, вводимого в волокно, его рабочая температура была $\sim 200^\circ \text{C}$ при входной мощности излучения ~ 300 мВт. На рис. 4 показано АСМ-изображение тонких (< 30 нм) коротких линий на маскирующем покрытии, полученных с помощью горячего зонда АСМ.

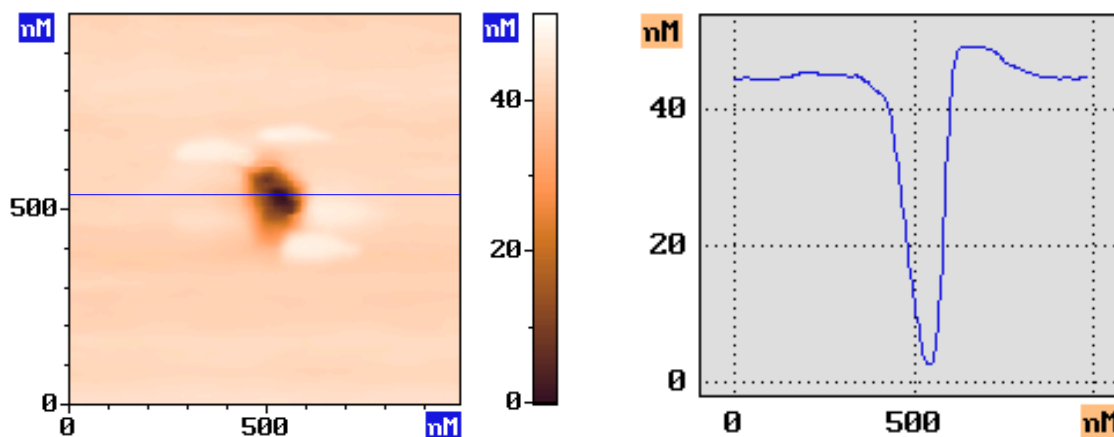


Рис. 2. Атомно-силовое изображение модифицированной структуры полимер-индий (точка) после плазмо-химического травления.

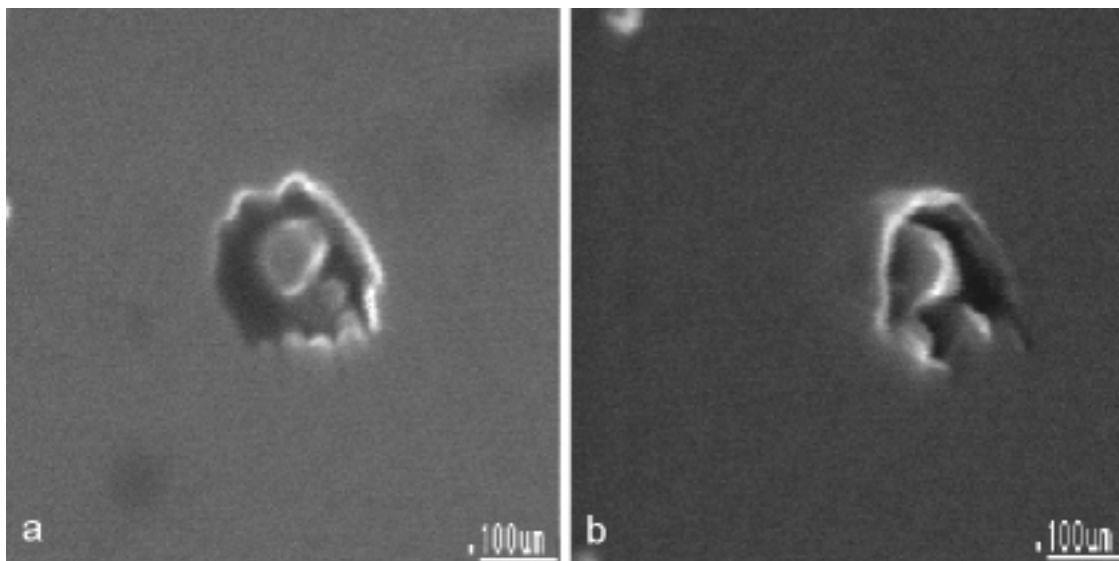


Рис. 3. Изображения одиночного металлического наноконтакта на поверхности кремния, полученные с помощью СЭМ, а) нормально к поверхности, б) 35° к поверхности.

Таким образом, методика, приведённая в данной работе, может быть использована для создания рисунка металлических и диэлектрических элементов нанометровых размеров на поверхности полупроводниковой структуры. В частности, это может быть изготовление контактов к одиночным нанообъектам

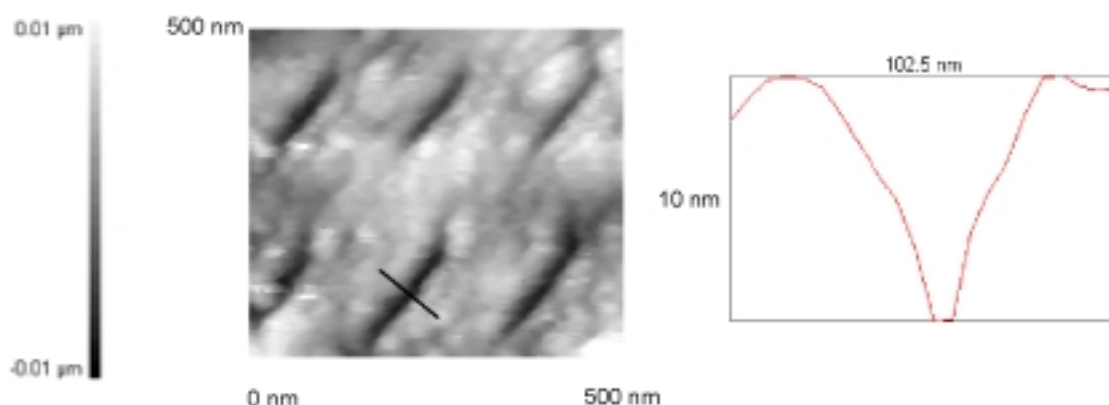


Рис. 4. Поверхность структуры полимер-индий, модифицированная горячим зондом АСМ.

(например, квантовым точкам и наноостровкам) и создание электронных и оптоэлектронных приборов со сверхмалыми размерами активных областей.

Работа выполнена при поддержке грантов РФФИ № 98-02-16624 и программы “Физика твердотельных наноструктур” № 98-1099.

Литература.

1. K. Matsumoto, M. Ishii, K. Segawa, Y. Oka, B. J. Vartanian, J. S. Harris.//Appl. Phys. Lett., v. 68, p. 34 (1996).
2. S.C. Minne, H.F. Soh, Ph. Flueckiger, C. F. Quate.//Appl. Phys. Lett., v. 66, p. 703 (1995).
3. S. Richter, D. Cahen, S. R. Cohen, K. Gartsman, V. Lyakhovitskaya, Y. Manassen.//Appl. Phys. Lett., v. 73, p. 1868 (1998).