

06

Создание субмикронного металлического рисунка произвольной геометрии с использованием селективного удаления атомов кислорода из оксида молибдена

© А.Г. Домантовский, К.И. Маслаков

ФГУ РНЦ „Курчатовский институт“, Москва
E-mail: doman-alex@yandex.ru

Поступило в Редакцию 7 сентября 2007 г.

Впервые продемонстрирована возможность изготовления субмикронных металлических структур на подложке с помощью метода селективного удаления атомов кислорода. Получены структуры металлических линий из молибдена шириной $0.35\ \mu\text{m}$ и толщиной $20\ \text{nm}$ в результате облучения протонами с энергией $3\ \text{keV}$ пленки оксида молибдена на кремниевой подложке через маску из электронного резиста с последующим удалением резиста и участков невосстановленного оксида. Отмечается, что указанный способ может быть использован для создания структур произвольной геометрии на различных подложках.

PACS: 85.40.Nr, 61.80.Jh, 85.40.Ls

Хорошо известно, что литография является одним из определяющих этапов при производстве интегральных схем и многих других электронных приборов [1]. Более того, изготовление практически любых микро- и наноструктур требует проведения литографических операций [2]. Поэтому усовершенствование старых и разработка новых методов литографии является важной научно-технической задачей.

Основная задача литографии заключается в создании на подложке „рисунка“ заданной геометрии, отличающегося по химическому составу от состава подложки. Такой рисунок может быть как самостоятельным объектом исследования, так и вспомогательной структурой, например служить маской для последующего травления подложки. Часто конечным результатом литографического процесса является изготовление металлической маски на подложке [2].

Для получения металлического рисунка произвольной геометрии на подложке нами был предложен метод, основанный на селективном удалении атомов кислорода из оксидов металлов, происходящем под действием протонного облучения [3]. Этот метод принципиально отличается от других и имеет, на наш взгляд, определенные преимущества перед используемыми в настоящее время методами.

Физическая сущность данного метода сводится к следующему. При облучении многокомпонентного материала ускоренными частицами можно подобрать массу и энергию бомбардирующих материал частиц так, что в поверхностных слоях материала будут происходить эффективные смещения только атомов одного сорта. В результате будет происходить селективное удаление именно этих атомов из облучаемого объема материала. В частности, при протонном облучении оксидов металлов условия удаления атомов кислорода реализуются при энергиях протонов ≥ 0.3 keV. Толщина модифицированного слоя зависит от химического состава облучаемого материала и энергии протонов и может составлять 10–250 nm при энергиях 0.5–5 keV. Нами установлено, что при облучении оксидов можно получить практически полное удаление атомов кислорода из облучаемого объема материала; при этом толщина образующегося металлического слоя составляет 5–100 nm [4].

Таким образом, если проводить протонное облучение через защитную маску, созданную при помощи фото- или электронной литографии, то можно создать металлический рисунок в матрице из исходного оксида. Последующее удаление резистивной маски и участков невосстановленного оксида позволяет получить требуемый металлический рисунок на подложке (рис. 1).

Ранее нами были изготовлены структуры, состоящие из линий Mo шириной $2.5 \mu\text{m}$ [3]. Достаточно большие размеры этих структур были связаны с разрешением использованной для их получения контактной фотолитографии. В данной работе нами впервые изготовлены

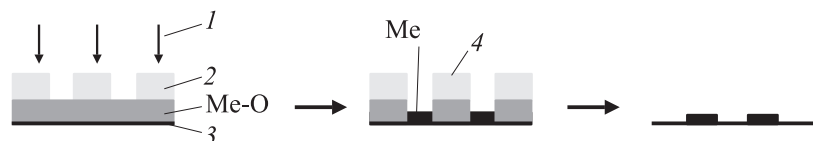


Рис. 1. Схема проведения литографического процесса с помощью метода селективного удаления атомов: 1 — пучок протонов, 2 — резист, 3 — подложка, 4 — удаление резиста и Me-O.

субмикронные металлические маски из Mo на кремниевой подложке. Маски представляют собой металлические линии шириной $0.35\ \mu\text{m}$ с переменным расстоянием между ними.

Технология изготовления этих структур аналогична описанной в [3]. На монокристаллическую кремниевую пластину осаждалась пленка MoO_3 толщиной $50\ \text{nm}$. После этого на ее поверхности методом электронной литографии создавалась маска из электронного резиста ЭРП-40 толщиной $300\ \text{nm}$, представляющая собой набор линий шириной $0.35\ \mu\text{m}$. Экспонирование электронным пучком осуществлялось на установке ZBA-21. Ширина линий в маске из электронного резиста определялась только максимальным разрешением, реализуемым на использованной электронно-лучевой установке. Следует также отметить, что выбор резиста ЭРП-40 не является оптимальным, поскольку он обладает достаточно низкой радиационной и плазмостойкостью. Восстановление Mo из оксида осуществлялось под действием облучения протонами с энергией $3\ \text{eV}$ при комнатной температуре до дозы $1 \cdot 10^{18}\ \text{H}^+/\text{cm}^2$. Последующее удаление электронного резиста проводилось в теплом (40°C) ацетоне, а участков исходного оксида MoO_3 — в водном растворе KOH ($0.5\ \text{wt.}\%$). Исследование полученного металлического рисунка проводилось методом атомно-силовой микроскопии (АСМ) на сканирующем зондовом микроскопе Solver P47 фирмы НТ-МДТ в полуконтактном режиме.

Анализ топографических изображений поверхности, полученных с помощью АСМ, показал полное соответствие между металлическим рисунком, созданным при помощи протонного облучения, и резистивной маской, изготовленной методом электронной литографии (рис. 2). Толщина металлических полос составляет $\sim 20\ \text{nm}$, что находится в хорошем соответствии с теоретическими оценками, исходя из уменьшения объема материала при фазовом превращении оксида в металл.

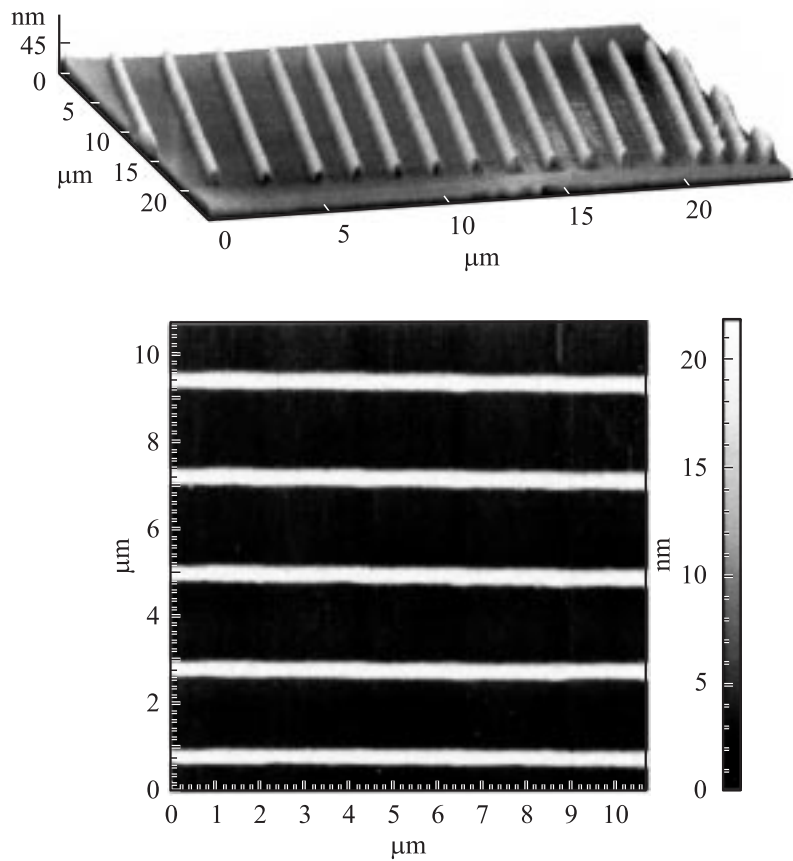


Рис. 2. Топографические изображения (после удаления электронного резиста и участков исходного MoO_3) металлического „рисунка“, полученные с помощью атомно-силового микроскопа. На нижнем рисунке справа приведена цветовая шкала высот рельефа поверхности.

Как отмечалось ранее [3], по сравнению с наиболее распространенным в настоящее время методом „взрывной“ (lift-off) литографии предложенный метод имеет несколько потенциальных преимуществ. Во-первых, для создания металлического рисунка не требуется изго-

товления резистивной маски со сложным профилем стенок. Во-вторых, при создании структур с малыми (~ 50 nm и менее) линейными размерами, при прочих равных условиях, предложенный нами метод позволяет создавать структуры большей толщины. Метод может быть использован для широкого класса материалов. Еще одной интересной особенностью предложенного метода, важной для создания структур типа металл–полупроводник, является возможность создания значительно более высоких потенциальных барьеров на контакте, чем при традиционных методах, основанных на осаждении пленок [5]. Последнее важно для изготовления наноразмерных структур типа диодов Шотки.

Таким образом, нами показано, что предложенным ранее способом можно создавать металлические маски с субмикронным размером элементов. В настоящее время нами ведутся работы, направленные на изготовление аналогичных структур с линейными размерами ~ 100 nm и менее.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (РФФИ) в рамках гранта 06-080-08046-офи.

Список литературы

- [1] *International Technology Roadmap for Semiconductors*. 2006.
http://www.itrs.net/Links/2006Update/FinalToPost/08_Lithography2006Update.pdf
- [2] *Handbook of Microlithography, Micromachining, and Microfabrication*. V. 1: *Microlithography* / (Ed. P. Rai-Choudhury). SPIE Press. 1997. V. PM39. 776 p.
- [3] *Domantovsky A.G., Gurovich B.A., Maslakov K.I. // Crystallography Reports*. 2006. V. 51. Suppl. 1. P. S196–S199.
- [4] *Gurovich B., Prikhodko K., Domantovsky A., Kuleshova E., Olshansky E., Maslakov K., Lunin Y. // Proc. SPIE*. 2006. V. 6260. P. 626 005.
- [5] *Гурович Б.А., Аронзон Б.А., Рыльков В.В., Ольшанский Е.Д., Кулешова Е.А., Долгий Д.И., Ковалев Д.Ю., Филиппов В.И. // ФТП*. 2004. Т. 38. В. 9. С. 1074–1078.