

Методика изготовления «подвешенных» электродов для мономолекулярного транзистора

Сапков Иван Владимирович, Масленников Владимир Андреевич

студент

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия

E-mail: sterkul@gmail.com

Введение

Развитие современной микроэлектроники предполагает дальнейшую миниатюризацию элементной базы, что уже сейчас заставляет искать возможности перехода к элементам с размерами порядка десятков и единиц нанометров. Выход на такие масштабы крайне проблематичен в рамках имеющейся технологии и подразумевает изменение самой физики процессов, протекающих в таких элементах. Ожидается, что молекулярная электроника позволит совершить переход к таким размерам и создать новые запоминающие устройства сверхвысокой ёмкости, всевозможные сенсоры, включая химические и биологические.

Одним из базисных устройств молекулярной электроники можно назвать молекулярный одноэлектронный транзистор – молекула, расположенная между двумя электродами, потенциал на которой изменяется с помощью третьего электрода. В основе работы такого устройства лежит явление одноэлектронного туннелирования. Задача создания такого устройства разбивается на две. Во-первых, создание подводящих электродов с зазором между ними, позволяющим работать с объектами нанометровых размеров, т.е. тоже порядка нескольких нанометров. Во-вторых, помещение между этими электродами одиночной молекулы и ее закрепление.

Данная работа посвящена решению первой из этих задач. Эта задача может решаться с использованием методов электрохимии (электрохимическое нанесение, травление [1]) и других эффектов, происходящих в тонких пленках (электромиграция атомов металла [2-4]). В данной работе реализована методика изготовления электродов мономолекулярного транзистора путём дополнительного напыления золота на предварительно созданный относительно широкий зазор.

Технология

На кремниевой подложке, покрытой слоем оксида кремния, создаются электроды-заготовки с зазором 50-100 нм по методу электронно-лучевой литографии при использовании растрового электронного микроскопа “Stereoscan-240”, установки плазмохимического травления RDE-300 и установок напыления Z-400 и L-560.

По разрабатываемой методике на двух следующих этапах сначала требуется создать подтрав в области зазора между электродами-заготовками, а затем напылить дополнительную плёнку золота, зарастив зазор.

На выходе этапа стандартной нанолитографии (зазор порядка 50-100 нм) электроды-заготовки состояли из трёх слоёв: хрома 7 нм, золота 20 нм и 7 нм титана. Хром был необходим для улучшения адгезии золота, а титан для защиты слоя золота на следующем этапе при формировании подтрав в оксиде кремния в области зазора между электродами. Сами электроды оканчивались контактными площадками (размером 1x1,5мм), к которым подведены упругие игольчатые лапки, что позволяло включать их в измерительную установку на базе пикоамперметра Keithley-6487, компьютера и специально собранного измерительного зонда, позволяющих задавать токи в диапазоне 0 – 10 мА и напряжения 0 – 20 В. Это также позволяет в случае образования перемычки провести дополнительную операцию по её разрыву путём электромиграции атомов металла.

Результаты

На первом этапе разработанной методики производилось создание подтрава под электродами-заготовками в области зазора в оксиде кремния с использованием установки травления RDE-300, что исключило «нетехнологичную» операцию травления в плавиковой кислоте, использовавшуюся в предшествующих работах [5]. Принципиально важным моментом является необходимость обеспечить «нависание» электродов, чтобы исключить замыкание электродов через дополнительно напылённую плёнку золота.

Для обеспечения указанного требования (при заложенной на технологическом этапе толщине оксида кремния в 600 нм) были определены оптимальные параметры анизотропного травления оксида кремния, задающие глубину профиля: смесь газов CF_4 (фреона) и O_2 (кислорода) в соотношении 10:1 при давлении 4 Па и мощности разряда 50 Вт в течение 14 минут. Были определены аналогичные параметры и для изотропного травления, определяющие величину подтрава под электроды: смесь газов CF_4 (фреона) и O_2 (кислорода) 10:1 при давлении 30 Па и мощность разряда 25 Вт в течение 5 минут. Величина подтрава составила около 300 нм.

На втором этапе перед напылением золота осуществлялось создание дополнительной маски вдоль линии зазоров, чтобы предельно сократить длину участков электродов, нависающих над проводящей плёнкой золота, так как в этих областях наиболее вероятны замыкания. В ходе этапа «допыления» была определена величина полезного эффекта: уменьшение ширины зазора при напылении на образец 100 нм дополнительной плёнки составило 70 ± 20 нм.

В ходе работы была изготовлена серия образцов и сняты вольт-амперные характеристики (ВАХ), часть из них показали линейную зависимость. Это, а также просмотр в растровый электронный микроскоп (РЭМ), даёт основания полагать, что дополнительно напылённое золото замкнуло зазор. Преимуществом методики является возможность разрыва такого замыкания методом электромиграции атомов металла, что и было проделано. Заново снятые ВАХ продемонстрировали увеличение сопротивления зазора до 100 МОм, что означает наличие зазора между электродами. Измерение величины зазора в РЭМ показало, что ширина зазора меньше, чем предел разрешения микроскопа “Stereoscan-240”, который составляет 10 нм.

Полученные результаты показывают применимость предложенной и реализованной методики изготовления зазоров нанометрового масштаба между металлическими тонкопленочными электродами. Продемонстрировано, что предложенный метод допускает итерационное приближение к заданному заранее размеру зазора. Причём это возможно как для его уменьшения, так и, при необходимости, увеличения. Насколько известно автору ни один из ранее предложенных методов подобным свойством не обладает. Такие результаты позволяют перейти к заключительному этапу изготовления высокотемпературного ($\approx 300\text{K}$) мономолекулярного транзистора – к осаждению молекулы в зазор.

Литература

1. Y.V.Kervennic, D.Vanmaekelbergh, L.P.Kouwenhoven, and H.J.Van der Zant, Appl. Phys. Lett., Vol. 83, No. 18 3782-3784 (2003)
2. D.R.Strachan *et al* Appl. Phys. Lett., Vol. 86, 043109 (2005)
3. M.L.Trouwborst *et al*, J. of Appl. Phys Vol. 99, 114316 (2006)
4. J.Dong, B. A Parviz, Nanotechnology, Vol. 17, 5124-5130 (2006)
5. P.Steinmann, J.M.R.Weaver, J. Vac. Sci. Technol. B, Vol. 22, No.(6) (2004)