

Исследование процесса формирования композиции функциональных и жертвенных тонкопленочных слоев

Е.Н. Галаганова, Е.В. Панфилова, В.В. Роменская
Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана (НИУ), ул. 2-ая Бауманская д.5,
Email: lenagalaganowa@mail.ru

Композиции функциональных и жертвенных тонкопленочных слоев используются при формировании микроэлектромеханических устройств и в исследованиях тонких пленок. В работе представлен анализ соответствующих технологий. Рассмотрены используемые в качестве жертвенных слоев материалы. Приведены результаты экспериментальных исследований процесса получения названных композиций.

Formation process of functional and sacrificial layers composition of thin films. E.N. Galaganova, E.V. Panfilova, V.V. Romenskaya. The compositions of functional and sacrificial thin-film layers are used in the formation of micro-electromechanical devices and in the thin films research. The paper presents the analysis of relevant technologies. The materials used as sacrificial layers are considered. The results of experimental studies of the process of obtaining these compositions are presented.

Введение

Одной из важнейших характеристик тонких пленок является их адгезия к поверхности подложки. Однако достижения нанотехнологий [1], технологий микроэлектромеханических систем (МЭМС) [2] поставили задачу формирования используемых отдельно от подложки пленочных систем. В частности, в МЭМС тонкие пленки конструкционного материала образуют механические элементы: микрозахваты, ключи и т.п.. Или, например, при исследовании процесса формирования нанокompозита на основе коллоидного монослоя наиболее простым способом оценки результативности процесса является анализ поверхности композита со стороны, которая была обращена к подложке.. Причем, в данном случае, коллоидный монослой является также жертвенным по своему назначению.

Похожие задачи решаются при подготовке реплик поверхности образцов для исследования на просвечивающем электронном микроскопе (ПЭМ) [3]. Однако при этом основную нагрузку несет полимерный слой, на который вакуумными способами наносят островковую пленку сплава золота и палладия и углеродную пленку. Первая из названных пленок необходима для увеличения контрастности изображения, вторая является электропроводящим слоем.

В технологии МЭМС и наноинженерии конструкционные материалы наносятся, как правило, вакуумными методами, и до настоящего времени вопрос сочетаемости слоев этих материалов с жертвенными слоями изучен недостаточно.

10. Анализ технологий поверхностной микрообработки МЭМС

Поверхностная технология заключается в построении микроструктур на поверхности кремния путем осаждения тонких пленок защитных (жертвенных) и структурных слоев и удаления в конце процесса защитных слоев для получения требуемой механической структуры. Этапы кремниевой поверхностной микрообработки представлены на рис. 1. Ключевыми этапами являются следующие:

- 1 Осаждение изолирующего слоя и основы поликристаллического кремния.
- 2 Осаждение 1-го жертвенного слоя и формирование исходного рисунка.
- 3 Осаждение поликристаллического кремния и формирование изображения рисунка статора и ротора. На этом этапе важен контроль напряженности структурного слоя. Если присутствует градиент деформации, он вызывает изгиб микроструктуры после удаления с подложки. Хотя применяют легирование и термический отжиг, получить ненапряженный слой поликремния трудно.

- 4 Нанесение рисунка на 1-й жертвенный слой и на 2-ой жертвенный слой.
- 5 Травление жертвенных слоев и освобождение структурных элементов изделия, например, ротор, как показано на рис. 1а. После растворения жертвенного слоя подложки промывают в деионизированной воде и сушат таким образом, чтобы избежать его адгезии к субстрату.

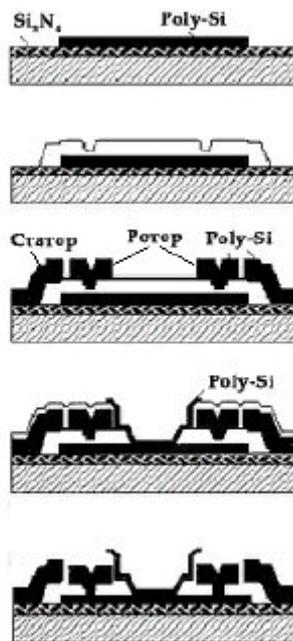


Рис. 1. Основные этапы поверхностной микрообработки [1].

11. Выбор материала жертвенного слоя

Результат процесса поверхностной микрообработки зависит от успешного удаления всех жертвенных слоев для освобождения структурных элементов, чтобы они могли приводиться в действие. На этом этапе уменьшается выход годных изделий и надежность изготовленных MEMS из-за явления, известного как липкость. Структурные элементы прилипают либо к подложке, либо к смежным элементам. Капиллярные силы промывочных жидкостей, а также электростатические и Ван-дер-Ваальсовы силы также могут вызывать постоянную адгезию после того, как система высохла.

Задача отделения структуры от подложки и жертвенного слоя становится актуальнее с ростом применения функциональных элементов в микроэлектронике, альтернативной энергетике и медицине[4]. Самостоятельные наноразмерные объекты могут получаться с помощью механического и химического воздействия на связи между структурой и подложкой. В настоящее время используются следующие типовые комбинации материалов микроструктура/жертвенный слой:

- 1 Поликремний/диоксид кремния с нитридом кремния как изолирующим материалом. Используется химическое осаждение поликристаллического кремния из газовой фазы при низком давлении и паров оксида для осаждения жертвенных слоев. Для удаления последних применяется раствор плавиковой кислоты (HF), который не оказывает влияния на поликремний.
- 2 Полиимид/алюминий. Для удаления защитного слоя алюминия используются кислотные реагенты.
- 3 Нитрид кремния/поликремний. Растворения и анизотропного травления кремния используются KOH и EDP.
- 4 Вольфрам/диоксид кремния. Жертвенные слои удаляются растворами плавиковой кислоты.

- 5 Рабочий материал датчика/борофосфоросиликатное стекло (ФБСС, BoroPhosphoSilicateGlass, BPSG). Для удаления жертвенных слоев применяется селективное химическое травление с использованием плавиковой кислоты.

Экспериментальные исследования и анализ их результатов

Проект имеет энергетическую направленность в области создания тонкопленочного покрытия, абсорбирующего солнечную энергию [5]. Разработка ведется с применением вакуумного напылительного оборудования, установки создания пленок из коллоидных растворов и различного аналитического оборудования. В лабораторных условиях было опробовано использование в качестве жертвенного слоя поливинилового спирта для его удаления химическим методом. Поливиниловый спирт – это искусственный, водорастворимый и термопластичный полимер. Из сухой смеси приготовлен прозрачный раствор, который был нанесен на подложку и затем высушен на атмосфере при комнатной температуре. На сформированный жертвенный подслой методом седиментации была нанесена опаловая пленка, сформированная из коллоидных микросфер кремнезема. Толщина опаловой пленки составляла в среднем для образцов порядка пяти монослоев частиц. После самоорганизации опаловой структуры на нее методом магнетронного распыления была нанесена тонкая пленка меди толщиной 600 нм. Полученная структура схематично представлена на рис. 2. Отделение структуры медь-опал от подложки осуществлялось путем растворения слоя поливинилового спирта в воде. В результате была получена хрупкая тонкая пленка меди с внедренными в нее микросферами кремнезема.

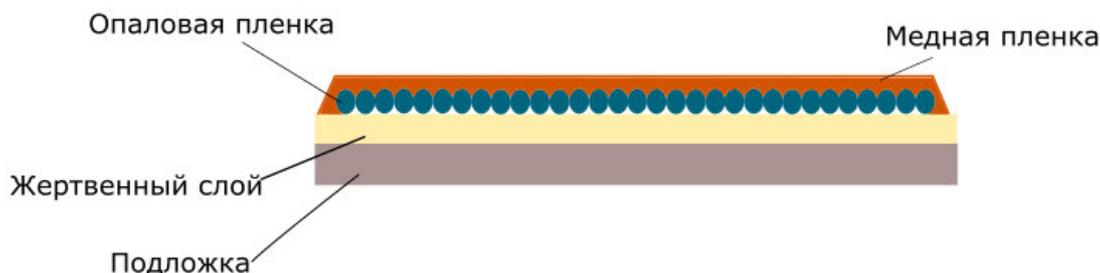


Рис. 2. Сформированная структура до отделения элемента.

Исследование образцов пленочной системы на атомно-силовом микроскопе (АСМ) (рис. 3) выявило, что качество поверхности, граничившей с жертвенным слоем, зависит от его толщины. Удачными были признаны образцы, поверхность коллоидной пленки которых сохранила структуру опаловой матрицы по всей поверхности.

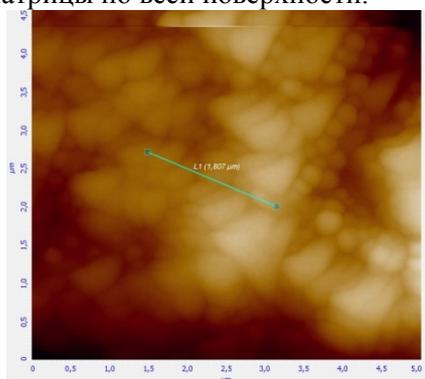


Рис. 3. АСМ-изображение полученной пленки.

Заключение

Проведенный эксперимент показал, что необходимо проанализировать влияние жертвенного слоя на процесс формирования опаловой пленки и установить оптимальную толщину пленки, образованной из поливинилового спирта. Отдельного внимания следует уделить мешающей проведению исследований проблеме хрупкости образцов. Полученные результаты можно будет использовать как для формирования пленочных систем, так и для изготовления композитных структур.

Литература

1. Hong Y.K. Surface tension self-assembly for three dimensional micro-opto-electro-mechanical systems. Diss. London. 2006.
2. Иванов С.В., Карелин Е.Ю. Основы технологии кремниевой микрообработки. [Электронный ресурс]: Научная электронная библиотека «КИБЕРЛЕНИНКА». URL: <https://cyberleninka.ru/article/v/osnovy-tehnologii-kremnievoy-mikroobrabotki> (дата обращения: 29.07.2018).
3. An Introduction to MEMS (Micro-electromechanical Systems) // Prime Faraday Technology Watch. 2002. Режим доступа: http://www.lboro.ac.uk/microsites/mechman/research/ipm-ktn/pdf/Technology_review/an-introduction-to-mems.pdf. (дата обращения: 29.07.2018).
4. Певцов Е.В. Основы моделирования и проектирования МЭМС в САПР ConventorWare. [Электронный ресурс]: Учебное пособие/ Певцов Е.Ф., Деменкова Т.А., Аль-Натах Р.И. М.: Московский технологический университет (МИРЭА), 2016. Режим доступа: <https://docviewer.yandex.ru/view/331636498> (дата обращения: 29.07.2018).
5. Е.Н. Галагнова, Е.В. Панфилова. Разработка инверсных интегрированных покрытий с использованием фотонно-кристаллической структуры. /«Вакуумная техника, материалы и технология». Под редакцией д. т. н., проф/ С.Б. Нестерова. М.:НОВЕЛЛА. 2018 – 93-96 с.

Исследование скорости осаждения ультратонких сверхпроводящих пленок WSi при варьировании энергии частиц осаждаемого материала

Д.Д. Васильев, Е.И. Малеванная, К.М. Моисеев
Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана, ул. 2-я Бауманская, 5
e-mail: d.d.vasiliev@bmstu.ru, k.moiseev@bmstu.ru

В работе представлены эксперименты по определению влияния потенциала смещения на подложке, температуры подложки и пиковой мощности импульсного распыления, которая является эквивалентом ионизации, мишени вольфрама, на скорость осаждения пленок W, Si и WSi. Полученные результаты являются основой для воспроизводимого процесса формирования ультратонких пленок WSi.

Investigation of the deposition rate of ultrathin superconducting WSi films under varied energy of the deposited material particles. D.D. Vasilev, E.I. Malevannaya, K.M. Moiseev. Experiments are performed to determine the influence of the bias potential on the substrate, the substrate temperature and the peak power of the pulsed sputtering, which is the equivalent of ionization, of the tungsten target, on the deposition rate of the W, Si, and WSi films. The obtained results are the basis for the reproducible process of ultrahigh WSi films formation.

Введение

Пленки WSi используются в SSPD (Superconducting Single Photon Detector) благодаря возможности получения квантовой эффективности детектора более 93% [1]. Как утверждает