

НАНО-И МИКРОСИСТЕМНАЯ ТЕХНИКА

- Нанотехнологии
- Зондовая микроскопия
- Микромашины и наносистемы
- Молекулярная электроника
- Биоактивные нанотехнологии
- Элементы датчиков и биочипы
- Микроэлектромеханические системы
- Микрооптоэлектромеханические системы
- Биомикроэлектромеханические системы

3 (164)
2014



C-28137

НАНО- И МИКРОСИСТЕМНАЯ ТЕХНИКА

№ 3(164) ✧ 2014

ЕЖЕМЕСЯЧНЫЙ МЕЖДИСЦИПЛИНАРНЫЙ ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ И ПРИКЛАДНОЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

Журнал выпускается при научно-методическом руководстве Отделения нанотехнологий и информационных технологий Российской академии наук

Журнал включен в перечень научных и научно-технических изданий ВАК России и в систему Российского индекса научного цитирования

Издается с 1999 г.

Главный редактор

Мальцев П. П., д.т.н, проф.

Зам. гл. редактора

Лучинин В. В., д.т.н, проф.

Шур М., д.ф.-м.н., проф. (США)

Редакционный совет:

Аристов В. В., д.ф.-м.н., проф., чл.-кор. РАН

Ассесв А. Л., д.ф.-м.н., проф., акад. РАН

Гапонов С. В., д.ф.-м.н., проф., акад. РАН

Калыев И. А., д.т.н., проф., чл.-кор. РАН

Квардаков В. В., д.ф.-м.н., проф., чл.-кор. РАН

Климов Д. М., д.т.н., проф., акад. РАН

Ковальчук М. В., д.ф.-м.н., проф., чл.-кор. РАН

Нарайкин О. С., д.т.н., проф., чл.-кор. РАН

Никитов С. А., д.ф.-м.н., проф., чл.-кор. РАН

Рыжий В. И., д.ф.-м.н., проф., чл.-кор. РАН

(Япония)

Сауров А. Н., д.т.н., проф., чл.-кор. РАН

Сигов А. С., д.ф.-м.н., проф., акад. РАН

Чаплыгин Ю. А., д.т.н., проф., чл.-кор. РАН

Шевченко В. Я., д.х.н., проф., акад. РАН

Редакционная коллегия:

Абрамов И. И., д.ф.-м.н., проф. (Беларусь)

Андреев А., к.ф.-м.н., (Великобритания)

Андриевский Р. А., д.х.н., проф.

Антонов Б. И.

Астахов М. В., д.х.н., проф.

Быков В. А., д.т.н., проф.

Волчихин В. И., д.т.н., проф.

Горнев Е. С., д.т.н., проф.

Градецкий В. Г., д.т.н., проф.

Кальнов В. А., к.т.н.

Карякин А. А., д.х.н., проф.

Колобов Ю. Р., д.т.н., проф.

Кузин А. Ю., д.т.н., проф.

Мокров Е. А., д.т.н.

Панич А. Е., д.т.н., проф.

Панфилов Ю. В., д.т.н., проф.

Петросянц К. О., д.т.н., проф.

Петрунин В. Ф., д.ф.-м.н., проф.

Пожела К., д.ф.-м.н. (Литва)

Путилов А. В., д.т.н., проф.

Пятышев Е. Н., к.ф.-м.н.

Стриханов М. Н., д.ф.-м.н., проф.

Телев В. А., д.т.н., проф.

Тимошенков С. П., д.т.н., проф.

Тодуа П. А., д.т.н., проф.

Шубарев В. А., д.т.н., проф.

Отв. секретарь

Лысенко А. В.

Редакция:

Григорин-Рябова Е. В.

Чугунова А. В.

Учредитель:

Издательство "Новые технологии"

СОДЕРЖАНИЕ**МАТЕРИАЛОВЕДЧЕСКИЕ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ МНСТ**

Бабаевский П. Г., Жукова С. А., Обижаев Д. Ю., Гринькин Е. А., Турков В. Е., Резниченко Г. М., Рискин Д. Д., Бычкова Ю. А. Вакуумплотное матричное корпусирование сенсорных микроэлектромеханических систем (аналитический обзор). Часть 1. Процессы соединения и разрезания пластин, локальная герметизация (вакуумное капсулирование) чувствительных элементов сенсорных микроэлектромеханических систем. 3

Ларчиков А. В., Беклемышев В. И., Махонин И. И., Филиппов К. В. Формирование наноструктурных покрытий на поверхностях трения машин и механизмов. 13

Усанов Д. А., Скрипаль А. В., Романов А. В. Влияние внешних воздействий на сверхвысокочастотные характеристики композитных материалов с включениями из углеродных нанотрубок. 19

Побойкина Н. В. Использование алмаза в качестве теплоотводящего элемента: методы и устройства выравнивания алмазных пленок и пластин. 23

МОДЕЛИРОВАНИЕ И КОНСТРУИРОВАНИЕ МНСТ

Амеличев В. В., Генералов С. С., Якухина А. В., Шаманаев С. В., Платонов В. В. Конструкция и технология изготовления матрицы силовых микроэлектромеханических ключей. 28

Сеничкин А. П., Бугаев А. С., Яценев А. Э. Исследование токовой неустойчивости в образцах, содержащих нанонити из атомов олова, встроенные в кристалл арсенида галлия. 32

ЭЛЕМЕНТЫ МНСТ

Джашитов В. Э., Панкратов В. М. Блок микромеханических чувствительных элементов с реверсивной системой терморегулирования на модуле Пельтье. 35

Есман А. К., Кулешов В. К., Зыков Г. Л., Залесский В. Б. ИК приемник на основе перехода Шоттки с резонансными нано- и микроструктурами. 44

БИОЭЛЕКТРОНИКА

Игнатов И. И., Мосин О. В. Структурные модели воды, описывающие циклические нанокластеры. 47

Аннотации на русском и английском языках с 1999 г. по настоящее время находятся в свободном доступе на сайте журнала (<http://microsystems.ru>; <http://novtex.ru/nmst/>) и научной электронной библиотеки (<http://elibrary.ru>). Электронные версии полнотекстовых статей расположены на сайте журнала: с 1999 по 2011 г. в разделе "АРХИВ".

ПОДПИСКА:

по каталогу Роспечати (индекс 79493);

по каталогу "Пресса Россия" (индекс 27849)

в редакции журнала (тел./факс: (499) 269-55-10)

Адрес для переписки:

107076 Москва,

Стромынский пер., д. 4

e-mail: nmst@novtex.ru

Journal of NANO- and MICROSYSTEM TECHNIQUE

NANO- I MIKROSISTEMNAYA TEHNIKA

№ 3

(164)

2014

Maltsev P. P., Dr. Sci. (Tech.), Prof. — **EDITOR IN CHIEF**
Luchinin V. V., Dr. Sci. (Tech.), Prof.
DEPUTY OF EDITOR IN CHIEF
Shur M. S., Dr. Sci. (Phys.-Math.), Prof. (USA) —
DEPUTY OF EDITOR IN CHIEF

Editorial council:

Aristov V. V., Dr. Sci. (Phys.-Math.), Prof., Cor.-Mem. RAS
Aseev A. L., Dr. Sci. (Phys.-Math.), Prof., Acad. RAS
Chaplygin Ju. A., Dr. Sci. (Tech.), Prof., Cor.-Mem. RAS
Gaponov S. V., Dr. Sci. (Phys.-Math.), Prof., Cor.-Mem. RAS
Kaljaev I. A., Dr. Sci. (Tech.), Prof., Cor.-Mem. RAS
Klimov D. M., Dr. Sci. (Tech.), Prof., Acad. RAS
Kovalchuk M. V., Dr. Sci. (Phys.-Math.), Prof., Cor.-Mem. RAS
Kvardakov V. V., Dr. Sci. (Phys.-Math.), Prof., Cor.-Mem. RAS
Narajkin O. S., Dr. Sci. (Tech.), Prof., Cor.-Mem. RAS
Nikitov S. A., Dr. Sci. (Phys.-Math.), Prof., Cor.-Mem. RAS
Ryzhii V. I. (Japan), Dr. Sci. (Phys.-Math.), Prof.,
Cor.-Mem. RAS
Surov A. N., Dr. Sci. (Tech.), Prof., Cor.-Mem. RAS
Shevchenko V. Ya., Dr. Sci. (Chem.), Prof., Acad. RAS
Sigov A. S., Dr. Sci. (Phys.-Math.), Prof., Acad. RAS

Editorial board:

Abramov I. I. (Belorussia), Dr. Sci. (Phys.-Math.), Prof.
Andreev A. (UK), Cand. Sci. (Phys.-Math.), Prof.
Andrievskii R. A., Dr. Sci. (Chem.), Prof.
Antonov B. I.
Astahov M. V., Dr. Sci. (Chem.), Prof.
Bykov V. A., Dr. Sci. (Tech.), Prof.
Gornev E. S., Dr. Sci. (Tech.), Prof.
Gradetskiy V. G., Dr. Sci. (Tech.), Prof.
Kalnov V. A., Cand. Sci. (Tech.)
Karjakin A. A., Dr. Sci. (Chem.), Prof.
Kolobov Ju. R., Dr. Sci. (Tech.), Prof.
Kuzin A. U., Dr. Sci. (Tech.), Prof.
Mokrov E. A., Dr. Sci. (Tech.)
Panfilov Ju. V., Dr. Sci. (Tech.), Prof.
Panich A. E., Dr. Sci. (Tech.), Prof.
Petrosjants C. O., Dr. Sci. (Tech.), Prof.
Petrunin V. F., Dr. Sci. (Phys.-Math.), Prof.
Piatishv E. N., Cand. Sci. (Phys.-Math.), Prof.
Pozhela K. (Lithuania), Dr. Sci. (Phys.-Math.)
Putilov A. V., Dr. Sci. (Tech.), Prof.
Strikhanov M. N., Dr. Sci. (Phys.-Math.), Prof.
Shubarev V. A., Dr. Sci. (Tech.), Prof.
Telets V. A., Dr. Sci. (Tech.), Prof.
Timoshenkov S. P., Dr. Sci. (Tech.), Prof.
Todua P. A., Dr. Sci. (Tech.), Prof.
Volchihin V. I., Dr. Sci. (Tech.), Prof.

Executive secretary:

Lysenko A. V.

Editorial staff:

Chugunova A. V.
Grigorin-Ryabova E. V.

Published since November 1999

CONTENTS

SCIENCE OF MATERIALS AND TECHNOLOGICAL BASICS OF MNST

Babaeyevsky P. G., Zhukova S. A., Obizhaev D. Y., Grinkin E. A., Turkov V. E., Reznichenko G. M., Riskin D. D., Bychkova Y. A. MEMS Sensor Vacuum Wafer Level Packaging (Analytical Review). Part 1. Wafer Bonding and Dicing Technologies. Local Hermetic Sealing (Vacuum Encapsulation) of MEMS Sensor Sensitive Elements 1

Larchikov A. V., Beklemyshev V. I., Makhonin I. I., Filippov K. V. Formation of Nanostructured Coatings on the Friction Surfaces of Machines and Mechanisms. 2

Usanov D. A., Skripal A. V., Romanov A. V. Effect of the External Influences on the Microwave Characteristics of the Composite Materials with Inclusions Made of Carbon Nanotubes. 3

Poboykina N. V. The Use of Diamond as a Heat Sink Element: Methods and Devices of Growing Diamond Films and Plates. 4

MODELLING AND DESIGNING OF MNST

Amelichev V. V., Ceneralov S. S., Yakukhina A. V., Shamanaev S. V., Platonov V. V. The Design and Technology of the Matrix of Power Microelectromechanical Keys 5

Senichkin A. P., Bugaev A. S., Yachmenev A. E. Investigation of the Current Instability Appearing while Apply Direct Current Perpendicularly to the Nanowires Inserted in the CaAs Crystal 6

MICRO- AND NANOSYSTEM TECHNIQUE ELEMENTS

Dzhashitov V. E., Pankratov V. M. The Unit of Micromechanical Sensors with the Reversible Thermal Control System on Peltier's Module. 7

Esman A. K., Kuleshov V. K., Zykov G. L., Zalesski V. B. Infrared Detector on the Basis of the Schottky Junction with the Resonance Nano- and Microstructures. 8

BIOELECTRONICS

Ignatov I. I., Mosin O. V. Mathematic Models, Describing Cyclic Water Nanoclusters 9

МОДЕЛИРОВАНИЕ И КОНСТРУИРОВАНИЕ МНСТ MODELLING AND DESIGNING OF MNST

УДК 621.382.049.77

В. В. Амеличев, канд. техн. наук, ст. науч. сотр., **С. С. Генералов**, науч. сотр., e-mail: generalserg89@mail.ru, **А. В. Якухина**, мл. науч. сотр., **С. В. Шаманаев**, ген. директор, **В. В. Платонов**, канд. техн. наук, ст. науч. сотр.
ООО "НПП "Технология"

КОНСТРУКЦИЯ И ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ МАТРИЦЫ СИЛОВЫХ МИКРОЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ КЛЮЧЕЙ

Поступила в редакцию 21.10.2013

Представлены конструкция и технология изготовления матрицы силовых микроэлектромеханических ключей. Рассмотрены основные конструктивные и технологические особенности создания кристалла МЭМС-ключа с электростатическим способом управления замыканием контактной группы. Определены перспективы применения матрицы силовых микроэлектромеханических ключей для коммутации постоянного и низкочастотного переменного тока в приборах средней мощности.

Ключевые слова: кремниевая технология, микромеханический элемент, матрица, МЭМС-ключ, металлическая плата, низкоомные электроды, силовая электроника

V. V. Amelichev, S. S. Generalov, A. V. Yakukhina, S. V. Shamanaev, V. V. Platonov

THE DESIGN AND TECHNOLOGY OF THE MATRIX OF POWER MICROELECTROMECHANICAL KEYS

Presented below are design and technology for manufacture of the matrix of power microelectromechanical keys, including the basic specific features of a MEMS chip key with an electrostatic control circuit of the contact group, and also the prospects for application of the matrix of power microelectromechanical keys for switching of DC and low-frequency AC in medium power devices.

Keywords: silicon technology, micromechanical element, matrix, MEMS switch, metal board, low-resistance electrodes, power electronics

Введение

Ежегодно большое число электромеханических реле находят применение в устройствах и системах автоматического управления и контроля, в приборах и механизмах, в бытовой технике и на транспорте. Обычно реле имеют относительно большой размер и могут занимать до 80 % места на печатных платах. Для процесса коммутации в таких реле требуется полный ток около 60 мА и напряжение питания +12 В [1]. Вследствие этого изделия с большим числом реле имеют большую энергоемкость и немалые габаритные размеры.

Одним из вариантов решения проблемы является использование микромеханического реле, изготовленного по технологии микросистемной техники [2]. Ранее большая часть исследований по созданию микромеханического реле фокусировалась на коммутации маломощных высокочастотных сигналов в приборах радиосвязи [3–5]. Но проблема обеспечения коммутации постоянного и низкочастотного переменного тока средней мощности остается актуальной и в настоящее время. Для ряда применений, включая аэрокосмическую технику, эта проблема может быть решена с помощью раз-

личных массивов силовых МЭМС-ключей, по сути, представляющих собой микромеханическое реле, но с той особенностью, которая позволяет использовать технический интеллект интегральной электроники для более рационального применения. Объединение микромеханических и полупроводниковых элементов в однокристалльную или многокристалльную микросистему позволит оптимально распределять токовую нагрузку в массиве силовых МЭМС-ключей и проводить диагностирование их состояния.

По сравнению с полупроводниковыми устройствами, например транзисторами и тиристорами, микромеханическое реле имеет преимущество в связи с более высоким сопротивлением в разомкнутом состоянии. Это обусловлено гальванической изоляцией, которая обеспечивается воздушным зазором между электрическими контактами реле.

Принципы работы микромеханических реле могут быть основаны на различных физических эффектах, таких как электромагнитный, пьезоэлектрический, тепловой и электростатический. В настоящее время микромеханические приборы с электростатическим управлением наиболее распространены. Электростатический актюатор (микропривод), с помощью которого осуществляется включение и выключение переключателя, состоит из двух электрически изолированных обкладок, одна из которых расположена на неподвижном основании, другая на подвижной пластине, прикрепленной к основанию упругими элементами [6]. При подаче разности потенциалов на обкладки между ними возникают силы электростатического притяжения, в результате действия которых упругий элемент притягивается к основанию, замыкая контактные элементы. Такие МЭМС-ключи часто находят применение в электронных устройствах управления.

Преимущества электростатического привода МЭМС-ключа состоят в крайне малой потребляемой мощности (ток потребляется только при переключении, типовое значение потребляемой мощности на один цикл переключения составляет значение, не превышающее 1 нВт). При этом с использованием современных технологий обеспечивается простота изготовления и относительно высокая скорость переключения, время отклика составляет 20 мкс [7].

Конструкция силового МЭМС-ключа

Согласно расчетным данным медные шины толщиной 40 мкм и шириной 250 мкм позволяют пропускать ток до 5 А, что в большинстве случаев является достаточным для питания устройств средней мощности [8]. Тонкопленочная технология, применяемая в ИС, не позволяет достигать таких толщин медных проводников, поэтому необходи-

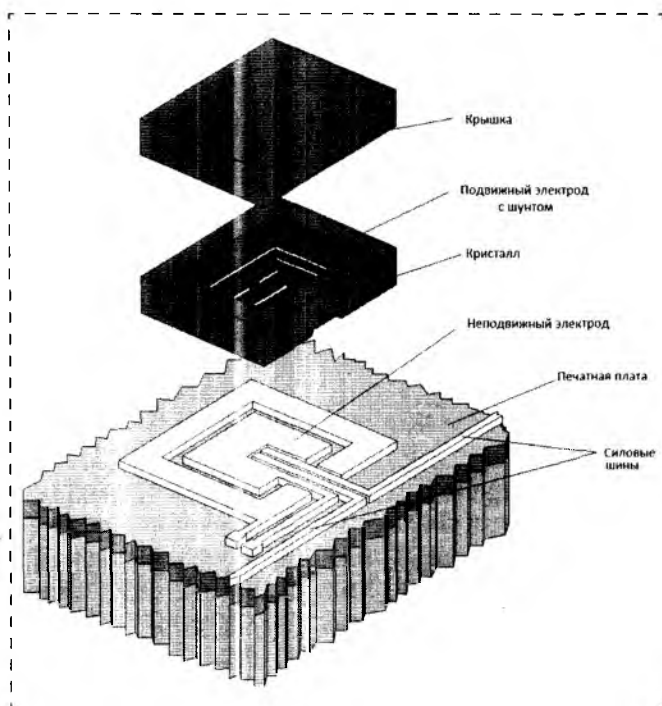


Рис. 1. Эскиз конструкции силового МЭМС-ключа

мо использовать потенциальные возможности технологии печатных плат и методы соединения кремниевых кристаллов с ними. Для улучшения теплоотвода силового МЭМС-ключа в конструкции целесообразно применять печатные платы с металлическим основанием. Например, хорошим вариантом является плата типа T-111 фирмы *Totking* с алюминиевым основанием толщиной 2 мм и изоляционным слоем толщиной 150 мкм на основе композитных материалов. В качестве рабочей металлизации в таких платах используют медь толщиной 35 мкм со слоями никеля 2,5...5 мкм и золота 0,1...0,25 мкм, нанесенного иммерсионным способом.

На рис. 1 представлен эскиз конструкции силового МЭМС-ключа на основе печатной платы с монтируемыми на нее последовательно двумя кремниевыми кристаллами. Первый кристалл, который монтируется на плату, содержит микромеханический элемент в виде пластины, закрепленной к основанию кристалла с помощью упругих балок. Под действием электростатических сил эта пластина будет притягиваться к электроду на плате, а расположенный на пластине шунт замыкать токовые шины, расположенные тоже на плате.

Второй кристалл кремния служит для защиты микромеханического элемента от загрязнений, которые могут попасть в зазор между электродами. Зазор между электродами обеспечивается технологией изготовления кристалла силового МЭМС-ключа и влияет на значение управляющего напряжения. Исходя из размеров конструктивных элементов (площадь электрода, толщина и ширина кремние-

вых балок, зазор между электродами) было рассчитано значение управляющего напряжения силового МЭМС-ключа, которое составило 25...30 В.

Технология кремниевого кристалла силового МЭМС-ключа

Процесс изготовления кристалла микромеханического реле может быть совместим с технологией интегральных схем на основе КМОП и биполярных ИС. При этом для реализации всех топологических элементов достаточно иметь проектные нормы не менее 1,5 мкм. Основным элементом микромеханического реле является МЭМС-ключ, представляющий собой систему микромеханических и электрических элементов, расположенных на площади в несколько квадратных миллиметров. Технологический маршрут изготовления кристалла МЭМС-ключа содержит семь фотолитографических циклов, совершаемых по лицевой и обратной стороне кремниевой пластины.

В качестве исходного материала для создания кристалла МЭМС-ключа используется подложка монокристаллического кремния электронного типа проводимости КЭФ-4,5 (100) толщиной 420...430 мкм с двусторонней полировкой (ДП). На первом этапе происходит формирование основания микромеханической структуры кристалла МЭМС-ключа. Пластина кремния окисляется до толщины SiO_2 0,5 мкм, и на нее затем осаждают слой нитрида кремния Si_3N_4 толщиной 0,15 мкм. Затем проводится первый цикл фотолитографии, в котором топология фигуры прямоугольной формы переносится на слой комбинации диэлектриков. Таким образом, создается химически стойкая маска для последующего анизотропного травления кремния в растворе щелочи. На этом этапе, помимо основного элемента, формируются дополнительные фигуры (метки) для последующего совмещения топологических рисунков на двух сторонах кремниевой пластины при проведении следующего цикла контактной фотолитографии. При наличии фоторезистивной маски области основного элемента и меток последовательно освобождаются от Si_3N_4 (слой 1) и SiO_2 (слой 2) до кремния (рис. 2), для последующего его анизотропного травления в растворе 33 % КОН, до остаточной толщины мембран 30...40 мкм.

Затем с лицевой и обратной стороны кремневых пластин последовательно удаляют пленки Si_3N_4 и SiO_2 , для того чтобы сформировать новую диэлектрическую маску из этих же пленок, защитив при этом обратную сторону пластины с глубоким рельефом и гладкую — лицевую.

При проведении второй операции фотолитографии топологический рисунок лицевой стороны кремневых пластин совмещается по сформированным меткам на обратной стороне пластин. Последующее формирование микроэлементов кри-

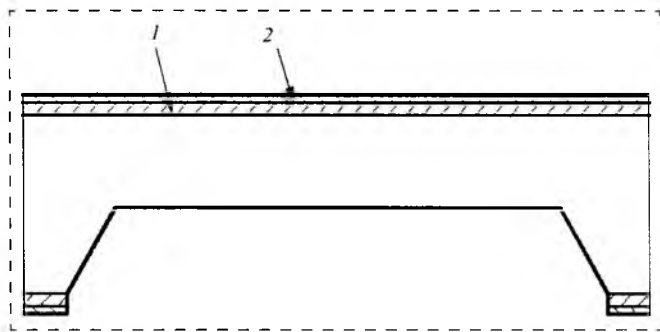


Рис. 2. Формирование мембран толщиной 35 ± 5 мкм:

1 — промежуточный слой SiO_2 , 0,5 мкм; 2 — промежуточный слой Si_3N_4 , 0,15 мкм

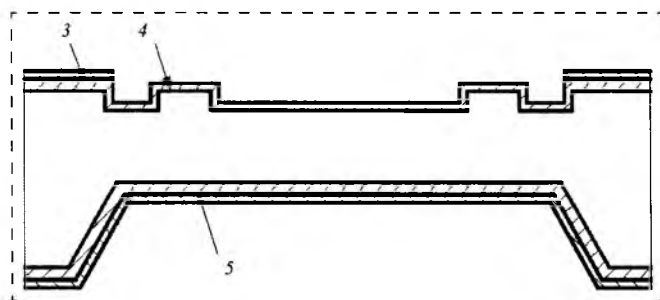


Рис. 3. Формирование выступов и шунтирующего элемента:

3 — промежуточный слой Si_3N_4 , 0,15 мкм; 4 — промежуточный слой SiO_2 , 0,5 мкм; 5 — комбинация диэлектрических пленок, общей толщиной 0,65 мкм

сталла микромеханического реле на лицевой поверхности проводят с помощью контактной фотолитографии при использовании стандартных планарных фигур совмещения. Во втором фотолитографическом цикле формируются ограничительные выступы и область будущего шунтирующего элемента в области мембраны (рис. 3).

Следующим этапом является локальное утонение мембраны с лицевой стороны на 3...4 мкм, для обеспечения зазора между токовыми шинами и шунтом. После завершения формирования микро рельефа на лицевой стороне пластины диэлектрическая маска снимается, и вся пластина подвергается процессу диффузии фосфора до концентрации 10^{21} см^{-1} для обеспечения омического контакта к подвижному электроду. Затем лицевую и обратную поверхность вновь покрывают защитным слоем комбинированного диэлектрика, и проводят очередной фотолитографический цикл, в процессе которого вскрывают окна в диэлектрических пленках к легированному слою n^+ . На эти сильнолегированные области кремния напыляется металлическая пленка алюминия и проводится очередная фотолитография по металлу для формирования конфигурации контакта к подвижному электроду и шунту. Затем алюминиевые области, расположенные над мембраной, защищают диэлектрической пленкой, полученной в результате

плазмохимического осаждения при температуре 360 °С (рис. 4).

На заключительном этапе формируется шунт МЭМС-ключа; с помощью процесса обратной фотолитографии наносят слой золота с подслоями NiCr и Ni общей толщиной 1,2 мкм. Завершается процесс формирования кристалла МЭМС-ключа процессом анизотропного травления кремния сквозь фоторезистивную маску в области тонкой мембраны в целях получения пластины подвижно-

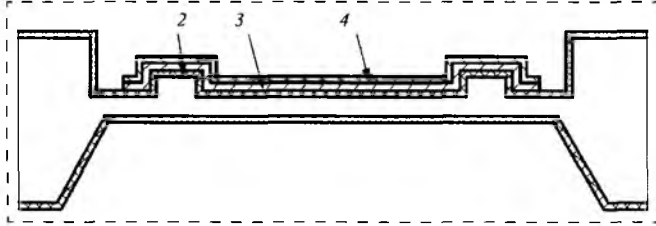


Рис. 4. Формирование металлизации к подвижному электроду: 2 — комбинация диэлектрических пленок, общей толщиной 0,65 мкм; 3 — металлический слой Al, 0,5 мкм; 4 — осаденный слой SiO₂, 1,0 мкм

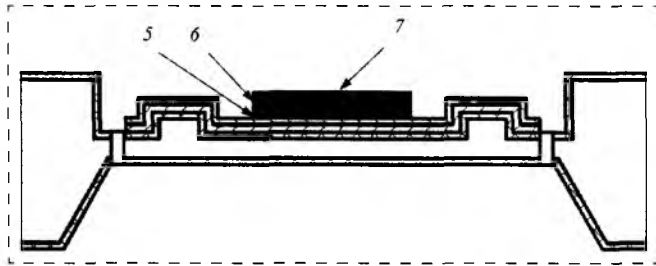


Рис. 5. Формирование металлического шунта и подвижного электрода: 5 — слой NiCr; 6 — слой Ni; 7 — слой Au

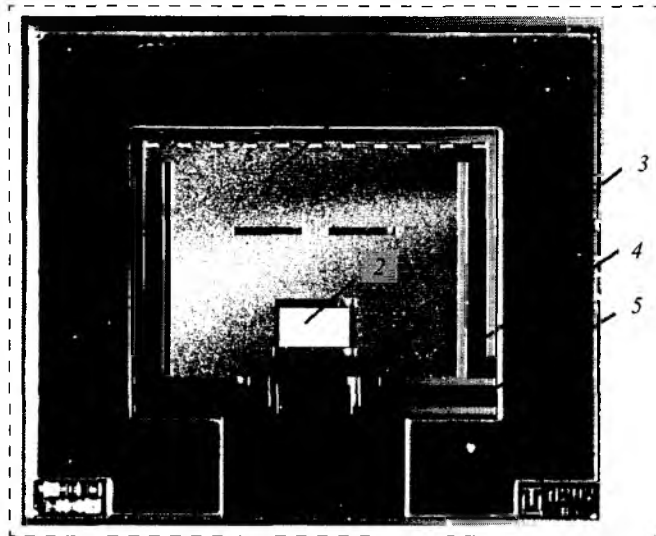


Рис. 6. Фотография кремниевого кристалла силового МЭМС-ключа (вид с лицевой стороны кристалла): 1 — подвижный электрод; 2 — шунт; 3 — кристалл Si; 4 — несущая балка, тип 1; 5 — несущая балка, тип 2



Рис. 7. Эскиз тестовой конструкции матрицы силовых МЭМС-ключей

го электрода, закрепленного с помощью упругих балок к кремниевой рамке (рис. 5).

На рис. 6 приведена фотография кристалла силового МЭМС-ключа, изготовленного по разработанной интегральной технологии. Площадь данного кристалла составляет 10 × 10 мм.

Тестовая конструкция матрицы силовых МЭМС-ключей

На рис. 7 представлен эскиз тестовой конструкции матрицы силовых МЭМС-ключей, на котором показано, как кремниевый кристалл с подвижным электродом располагается на плате с массивом электродов и токовых шин. На рис. 7 изображен только один кремниевый кристалл, но всего их, в данном случае, монтируется четыре штуки. После процесса совмещения границ кристалла с металлизацией на плате выполняется прижим с помощью грузов и разогрев до 160 °С. При этом индий, нанесенный по периферии кристалла, расплавляется, и кремниевый кристалл соединяется с печатной платой.

Данная тестовая конструкция матрицы силовых МЭМС-ключей разработана для специализированного разъема на плате с электронной схемой управления.

Заключение

Разработанная конструкция силового МЭМС-ключа является основной ячейкой линейного или двумерного массива в конструкции микромеханического реле, предназначенного для коммутации постоянного, низкочастотного переменного тока в приборах средней мощности. Применение печатных плат на металлической основе в конструкции микромеханического реле увеличивает теплоотвод силового МЭМС-ключа, что позволяет коммутировать токи до 5 А. Использование матричной схемы включения силовых МЭМС-ключей позволит в перспективе оптимизировать потребляемую мощность микромеханического реле в зависимости от токовой нагрузки.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации в рамках ФЦП "Развитие электронной компонентной базы и радиоэлектроники" на 2008—2015 годы, государственный контракт № 16.426.11.0054 от 28 апреля 2012 г.

Список литературы

1. Варадан В., Виной К., Джозе К. ВЧ МЭМС и их применение. М.: Техносфера, 2004. 188 с.
2. Амеличев В. В., Генералов С. С., Платонов В. В., Поломошнов С. А., Смехова М. И. Электростатический МЭМС-ключ на структуре кремний—стекло // Нано- и микросистемная техника. 2013. № 7. С. 43—47.
3. Hуman D., Mehregany M. Contact physics of gold microcontacts for MEMS switches // IEEE Trans. on Compo-

nents and Packaging Technology. Sep. 1999. Vol. 22, N 3. P. 357—364.

4. DeNatale J., Mihailovich R., Waldrop J. Techniques for reliability analysis of MEMS RF switches // Proc. IEEE Int. Reliability Physics Symposium, Dallas, TX, USA, Apr. 7—11, 2002. P. 116—117.

5. Нано- и микросистемная техника. От исследований к разработкам: сб. статей / под ред. П. П. Мальцева. М.: Техносфера, 2005.

6. Мухуров И. И., Ефремов Г. И., Мусский А. С. Электростатические коммутационные микроустройства на анодном оксиде алюминия // Доклады БГУИР. 2007. № 1(17). С. 79—87.

7. Справочник Шпрингера по нанотехнологиям (в 3-х томах) / под ред. Б. Бхушана. Т. I. М.: Техносфера, 2010. 640 с.

8. Муравьев Ю. Особенности проектирования и производства печатных плат на металлическом основании // Производство электроники: технологии, оборудование, материалы. 2010. № 2. С. 35—38.

УДК 621.315.592

А. П. Сеничкин, канд. техн. наук, зам. директора, А. С. Бугаев, зам. зав. лаб., А. Э. Ячменев, науч. сотр.
e-mail: alex.uhf@yandex.ru

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки

Институт сверхвысокочастотной полупроводниковой электроники Российской академии наук

ИССЛЕДОВАНИЕ ТОКОВОЙ НЕСТАБИЛЬНОСТИ В ОБРАЗЦАХ, СОДЕРЖАЩИХ НАНОНИТИ ИЗ АТОМОВ ОЛОВА, ВСТРОЕННЫЕ В КРИСТАЛЛ АРСЕНИДА ГАЛЛИЯ

Поступила в редакцию 26.09.2013

Представлены результаты исследования колебаний, возникающих при протекании тока перпендикулярно нанонитям, встроенным в кристалл арсенида галлия. Обнаружено влияние тянущего напряжения, а также светового воздействия на колебания тока, что говорит о наличии глубокого потенциального рельефа при протекании тока перпендикулярно нанонитям.

Ключевые слова: нанонити, квазиодномерные структуры, дельта-легирование, анизотропия, неустойчивость

A. P. Senichkin, A. S. Bugaev, A. E. Yachmenev

INVESTIGATION OF THE CURRENT INSTABILITY APPEARING WHILE APPLY DIRECT CURRENT PERPENDICULARLY TO THE NANOWIRES INSERTED IN THE GaAs CRYSTAL

Below are the results of the research of the oscillations appearing when a current goes perpendicularly to the nanowires inserted in a GaAs crystal. Influence of the pulling voltage and light affect on the current oscillations was discovered, which means that a deep potential relief is present, when a current goes perpendicularly to the nanowires.

Keywords: nanowires, quasionedimensional structures, delta-doping, anisotropy, instability

Введение

Системы с пониженной размерностью электронного газа вызывают повышенный интерес благодаря своим физическим свойствам, обусловленным квантово-размерными эффектами. Разработанные полупроводниковые гомоструктуры с нанонитями из атомов олова представляют собой совершенно новый тип квантовых систем, в которых квантовые элементы составляют единое целое

с матрицей из арсенида галлия и выполнены в течение одного технологического процесса, позволяя получить недостижимую для других методов изготовления (например, таких как литографические или изготовление мультиатомных ступеней методом молекулярно-лучевой эпитаксии (МЛЭ)) плотность носителей [1, 2]. Нанонити из атомов олова представляют собой квазиодномерные каналы проводимости, ориентированные вдоль краев