

УДК 681.7:539.216.22

Микромашиная технология формирования мостиковых структур микроболометрической матрицы формата 64×64

А. А. Жуков, А. Е. Здобников, В. В. Тарасов, Ю. С. Четверов
ОАО «ЦНИИ «Циклон»», Москва, Россия

Проведен анализ физико-технологических ограничений и разработана микромашиная технология формирования мостиковых структур неохлаждаемой микроболометрической матрицы с использованием тонких полиимидных "жертвенных" слоев и нитрида кремния толщиной 0,2—0,25 мкм. Получены образцы мостиковых структур матрицы формата 64×64 с шагом 51×51 мкм². Размер балки, опоры мостиковой структуры, а также зазор между балкой и основанием составляет 2,5 мкм. Разработанная технология является основой для получения микроболометрических линеек и матриц большего формата.

Основой современных неохлаждаемых микроболометрических устройств служат чувствительные элементы, сформированные на кремниевой подложке с мультиплексорами, представляющие собой двухуровневую микромостиковую конструкцию, расположенную над поверхностью подложки с образованием резонансной полости величиной 2—2,5 мкм [1—3].

Получение микромостиковых структур базируется на использовании физико-технологических методов создания MEMS-устройств. Практическая реализация микромостиковых структур возможна с использованием известного технологического приема, предусматривающего анизотропное травление "жертвенных" слоев из под покрытия толщиной несколько десятых микрометра. Выбор материалов для микромостиковых структур, способов и режимов их обработок определяется свойствами материалов и физико-технологическими ограничениями методов микрообработки.

Целью работы являлись анализ физико-технологических ограничений при разработке технологии и формирование мостиковых структур на основе нитрида кремния для изготовления микроболометрической матрицы формата 64×64 пикселей.

Экспериментальная часть

Экспериментальные образцы получали на окисленных кремниевых подложках. Материалом мостиковой структуры служили покрытия

на основе нитрида кремния. В качестве материалов маски при формировании топологического рисунка использовали фоторезист, ванадий и нитрид кремния, а при формировании "жертвенного" слоя — полиимид, сформированный при оптимальных режимах методом двухстадийной термоимидизации [4, 5].

Оценку качества полученных структур проводили с помощью оптического микроскопа фирмы Union при увеличении ×480, электронного микроскопа JEOL; толщину металлических слоев полиимида оценивали с помощью микроинтерферометра МИИ-4, профилографа-профилометра Talystep фирмы Teylor Hobson; оценку толщины нитрида кремния производили с помощью эллипсометра ЛЭФ-3М.

Схема технологического процесса формирования мостиковых структур микроболометрической матрицы формата 64×64 представлена на рис. 1. В соответствии с технологическим процессом реализована следующая последовательность операций:

а — на планаризованную поверхность подложки напыляют алюминий толщиной 0,5—0,6 мкм и фотолитографией формируют площадки для обеспечения контактов с терморезистивными слоями, затем вновь напыляют алюминий толщиной 0,05±0,1 мкм с последующей фотолитографией для получения зеркал;

б — для получения "жертвенного" слоя на поверхность с контактами и зеркалами формируют слой полиимида, толщина которого после про-

цесса имидизации составляет 2–2,5 мкм, при этом слой одновременно выполняет роль планаризирующего покрытия;

в — формируют защитную маску для травления полиимида, в качестве маски используют металлы или диэлектрики типа окиси кремния, окиси алюминия или нитрида кремния;

г — плазмохимическим травлением формируют отверстия в полиимиде, при этом внешний диаметр отверстия должен быть больше внутреннего;

д — на полученную структуру после удаления маски наносят нитрид кремния толщиной 2000–2500 нм;

е — напыление металла для получения контакта после травления через фоторезистивную маску отверстий в нитриде кремния;

ж — для получения топологической структуры пикселей проводят травление нитрида кремния и полиимида;

з — травление полиимида (“жертвенного” слоя) из-под нитрида кремния в кислородной плазме.

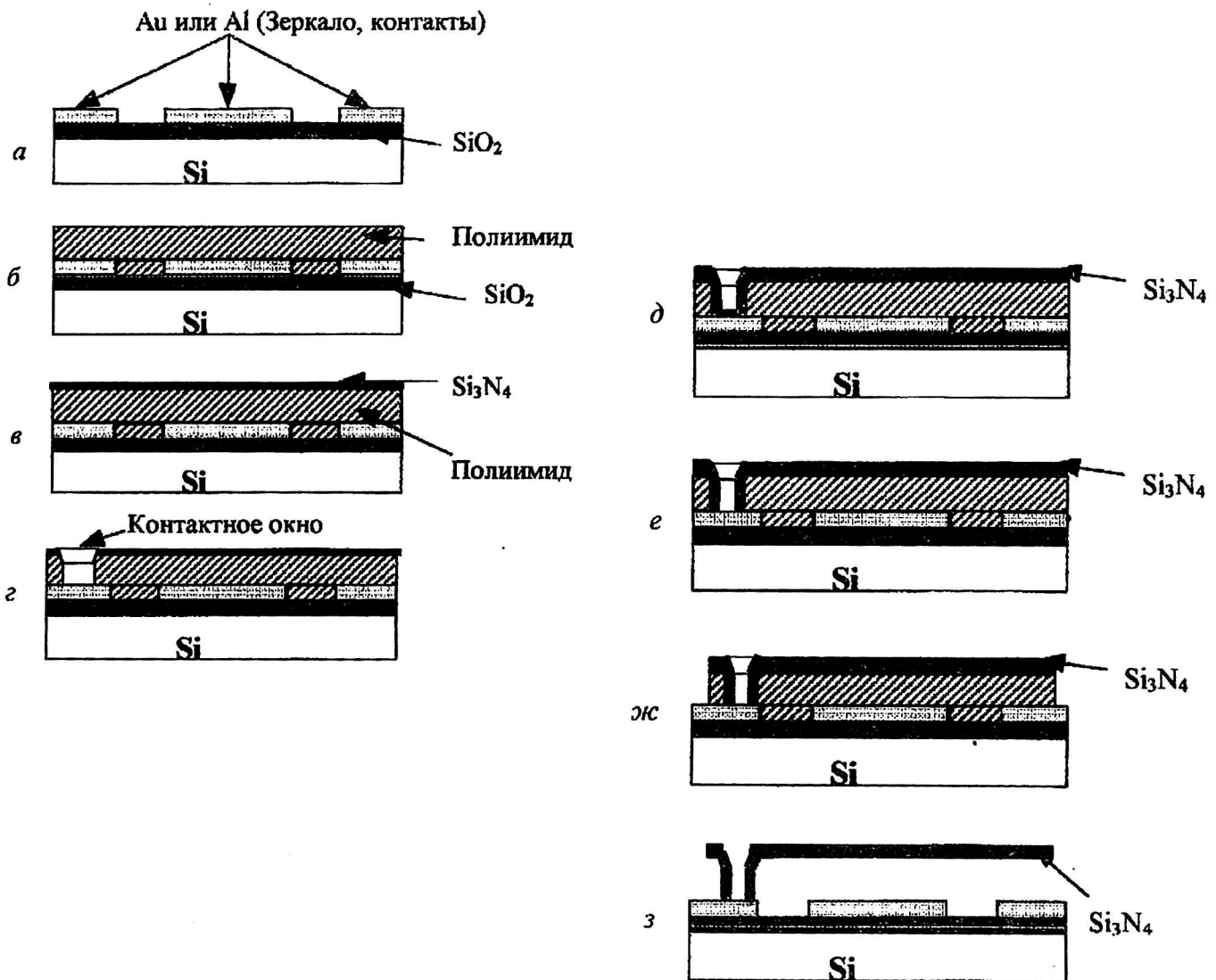


Рис. 1. Микромашинная технология изготовления матричных мостиковых структур из нитрида кремния:
 а — формирование контактных площадок и зеркал; б — нанесение слоя полиимида; в — нанесение защитной маски;
 г — травление контактных окон в защитной маске и полиимиде; д — нанесение нитрида кремния;
 е — травление нитрида кремния в окнах; ж — травление нитрида кремния и полиимида; з — травление полиимида

Результаты и их обсуждение

Анализ физико-технологических ограничений при формировании мостиковых структур микроболометрической матрицы представлен в таблице.

На рис. 2 представлены электронные микрофотографии сканирующей электронной микроскопии (СЭМ) экспериментальных образцов:

матричных мостиковых структур формата 64×64 пикселей (изображение в плоскости подложки — а) и опор мостиковой структуры (изображение под углом 45° к подложке — б). Искажения видного изображения обусловлены отсутствием электропроводящего слоя на поверхностях структур.

ФИЗИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОГРАНИЧЕНИЯ ПРИ ФОРМИРОВАНИИ МОСТИКОВЫХ СТРУКТУР

Операция технологического процесса	Метод	Физико-технологические ограничения
Формирование контактных площадок и зеркал	Испарение в вакууме, фотолитография и травление	Температура при формировании не менее 393 К и не более 453 К для получения слоя с высоким коэффициентом отражения
Нанесение "жертвенного" слоя полиимида	Центрифугирование раствора и двухстадийная термоимидизация	Использование промоторов для повышения адгезии полиимида к подложке
Формирование маски нитрида кремния и травление полиимида	Плазменный метод нанесения нитрида кремния, фотолитография и травление нитрида кремния, плазмохимическое травление полиимида	Температура при формировании нитрида кремния не более 723 К (не выше температуры деструкции полиимида). Угол профиля отверстия при травлении полиимида не более 40—45° для исключения обрывов мостиковой структуры
Формирование пикселей на основе нитрида кремния	Плазменный метод, фотолитография и плазменное травление нитрида кремния	Температура при формировании и травлении нитрида кремния не более 723 К (не выше температуры деструкции полиимида)
Травление "жертвенного" слоя полиимида	Плазменный метод	Температура при травлении не более 723 К (не выше температуры деструкции полиимида)



а



б

Рис. 2. Электронные микрофотографии мостиковых структур на основе нитрида кремния:
а — матричные мостиковые структуры формата 64×64 пикселей с сформированным зеркалом и контактными площадками;
б — опоры мостиковой структуры

Выводы

Проведен анализ физико-технологических ограничений и разработана технология, включающая последовательное формирование на поверхности сплошного полиимидного покрытия толщиной, равной толщине резонансной полости, получение в нем топологического рисунка отверстий с помощью плазменного травления через маску, нанесение слоя нитрида кремния толщиной 0,2—0,25 мкм и формирование рисунка тонкопленочных элементов с последующим травлением полиимида.

В результате разработки получены модельные образцы мостиковых структур на основе нитрида кремния со следующими характеристиками: формат матрицы — 64×64 пикселей, шаг пикселей — 51×51 мкм²; величина балки, опоры мостиковой структуры, а также зазора между балкой и основанием — ~2,5 мкм. Разработанная техно-

логия является основой для получения микробо- лометрических линеек и матриц большого фор- мата.

Литература

1. Андрияшин С. Я., Кравченко Н. В., Кулыманов А. В., Ли- берова Г. В., Таубкин И. И., Трищенко М. А., Филачев А. М., Эскин Ю. М. // Прикладная физика. 2000. № 5. С. 5—17.
2. Маляров В. Г., Хребтов И. А., Зеров В. Ю. и др. // Там же. С. 65—69.
3. Changhong Chen, Xinjian Yi, Xingrong Zhao, Bifeng Xiong // Sensors and Actuators A: Physical. 2001. V. 90 (3). P. 212—214.
4. Polyimides: Fundamental and application // Ed. by M. Ghosh, K. Mittal. Marcel Decker Inc. — New York, Basel, Hong Kong, 1996. — 891 p.
5. Бессонов М. И., Котон М. М., Кудрявцев В. В., Лайус Л. А. // Полиимиды — класс термостойких полимеров. — Л.: Наука, 1983. — 307 с.

Microengine technology of forming the bridge structures of a microbolometric 64×64 array

A. A. Zhukov, A. E. Zlobnikov, V. V. Tarasov, Yu. S. Tchetverov
CYCLONE Central Research Institute, Moscow, Russia

The analysis of physical and technological restrictions has been made and the microengine technology of forming the bridge structures of an uncooled microbolometric array with usage of thin polyimide "sacrificed" layers of the 0,2—0,25 μm silicon nitride has been developed. Samples of bridge structures of a 64×64 array with a 51×51 μm step are obtained. The developed technology is a basis for deriving microbolometric bars and arrays of a big format.