ИЗГОТОВЛЕНИЕ СВЧ РЕЗОНАТОРОВ НА ПОВЕРХНОСТНЫХ ПОПЕРЕЧНЫХ ВОЛНАХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДА ОБРАТНОЙ ФОТОЛИТОГРАФИИ

И.А. Корж, О.И. Солодовникова, С.А. Доберштейн, И.В. Веремеев

Омский научно-исследовательский институт приборостроения, Омск, Российская Федерация

Представлены результаты по изготовлению СВЧ резонатора на ПАВ с частотой 1,5 ГГц с использованием метода обратной фотолитографии. Приведены технологические особенности метода обратной фотолитографии.

Ключевые слова: СВЧ ПАВ резонатор, обратная фотолитография.

PRODUCTION OF MICROWAVE RESONATORS FOR SAW USING THE METHOD OF REVERSE PHOTOLITHOGRAPHY

I.A. Korzh, O.I. Solodovnikov, S.A. Doberstein, I.V. Veremeev

Omsk Scientific-Research Institute of Instrument Engineering, Omsk, Russian Federation

The results on the manufacture of a microwave resonator at a surfactant with a frequency of 1,5 GHz using the method of reverse photolithography are presented. Technological features of the method of reverse photolithography are presented.

Keywords: microwave SAW resonator, reverse photolithography.

Введение

При изготовлении СВЧ резонаторов на ПАВ для получения требуемых характеристик (центральная частота, добротность и т.п.) необходимо применение технологии изготовления топологии резонатора (встречно-штыревых преобразователей – ВШП) с минимальными искажениями размеров [1]. Для получения топологии ВШП используются традиционно методы прямой и обратной (часто называемой взрывной) фотолитографии, а также получение ВШП при помощи ионного и плазмохимического травления. Последний метод позволяет достаточно точно воспроизводить топологию ВШП без видимых подтрав. Недостатком этого метода является использование плазмохимического травления в хлорсодержащей плазме (например, в плазме с использованием газа CCl_4 , который является токсичным). Требуется дорогое прецизионное оборудование для плазмохимических процессов, а также необходимо применение фоторезистов, стойких к хлорной плазме. Метод прямой фотолитографии наиболее прост, однако при его использовании неизбежны искажения геометрии рисунка ВШП из-за бокового растравливания алюминиевой металлизации, как минимум на две толщины металлизации. Этот фактор ограничивает получение СВЧ резонаторов на ПАВ с частотами более 1 ГГц. Использование обратной фотолитографии позволяет также, как и при использовании ионных процессов, более точно получать геометрию ВШП СВЧ резонаторов на ПАВ с минимальными искажениями. Для получения ВШП с использованием обратной фотолитографии необходимо применение специальных фоторезистов при формировании которых (нанесение, сушка, задубливание) образуется граница фоторезиста с отрицательным углом. Напыление металлической пленки (обычно алюминиевой) производится при помощи электроннолучевого испарения с большим расстоянием подложка-испаритель (более 50 см), для того чтобы испаряемый металл не осаждался на вертикальную поверхность фоторезиста. Тем самым обеспечивается доступ растворителя при снятии фоторезиста после напыления пленки алюминия. Недостатки такой технологии сле-

дующие: недостаточная точность получения тонких (менее 0,1 мкм) пленок алюминия электроннолучевым испарением, необходимость использования специальных фоторезистов.

Более высокую точность получения заданной толщины металлизации обеспечивает метод магнетронного распыления материалов (точность выполнения толщины 0,01 мкм). Расстояние подложка-мишень при магнетронном распылении составляет обычно 5–15 см и использование даже специальных фоторезистов для обратной фотолитографии не позволяет качественно получать ВШП СВЧ резонаторов.

Цель работы – получение СВЧ резонаторов на ПАВ методом обратной фотолитографии с использованием стандартных фоторезистов и магнетронного распыления материалов.

Методика эксперимента и экспериментальные результаты

Для получения тонких, контролируемых по толщине пленок ванадия и алюминия (5 и 120 нм соответственно), использовалась установка магнетронного распыления КАТОД. В качестве фоторезиста применялся позитивный фоторезист марки ФП-3506 с разрешением до 0,5 мкм. В качестве пьезоподложки использовался срез кварца YX/ 36°+90°, на котором распространяются поверхностные поперечные волны (STW) со скоростью 5000 м/с. Для того чтобы алюминий не осаждался на боковые стенки фоторезиста, на пьезоэлектрическую подложку напыляли пленку ванадия с толщиной в 2 раза толще пленки алюминия (ориентировочно 200 нм) для формирования отрицательного угла травления. Затем наносили фоторезист (толщина около 250 нм) и формировали рисунок, используя обратный фотошаблон. После удаления ванадия с незакрытых фоторезистом участков производили плазмохимическую очистку в кислороде. После этого напыляли металлизацию (ванадий-алюминий) и производили снятие фоторезиста в моноэтаноламине. При удалении фоторезиста в моноэтаноламине удаляется также металлизация, напыленная на фоторезист. Удаление фоторезиста с лежащей на нем металлизацией возможно, так как толщина первого ванадия (200 нм) с нанесенным фоторезистом (250 нм) в несколько раз больше металлизации (120 нм), а за счет подтравливания первого ванадия образуется отрицательный угол травления, который не позволяет металлизации осесть на боковые стенки фоторезистивной маски. Завершающей стадией формирования резонатора является удаление ванадия, находящегося в межштыревом пространстве.

Учитывая представленные особенности изготовления СВЧ резонатора, можно представить следующий технологический процесс обратной (взрывной фотолитографии):

1. Очистка пьезоэлектрической подложки.

2. Напыление пленки ванадия толщиной 200 нм (толщина пленки ванадия подбирается экспериментально для определенной частоты ПАВ резонатора и зависит от толщины металлизации):

3. Нанесение фоторезиста:

4. Сушка фоторезиста.

5. Экспонирование, проявление, задубливание:

6. Травление ванадия с пробельных участков:

7. Плазмохимическая очистка в кислороде.

8. Напыление металлизации – ванадий-алюминий (для ВШП резонатора):

9. Удаление фоторезиста:

ванадий-алюминий 0,1 мкм

10. Удаление пленки ванадия по полю.

После отработки воспроизводимой технологии изготовления был изготовлен СВЧ резонатор на STW. На рис. 1 показан ВШП резонатора на частоту 1500 МГц. Измерение параметров топологии ПАВ резонатора показали, что ширина штыря равна 0,9 мкм, ширина зазора – 0,6 мкм, коэффициент металлизации – 0,6. В то время как параметры топологии резонатора, заложенные на шаблоне, составляют: ширина штыря – 0,8 мкм, ширина зазора – 0,7 мкм, коэффициент металлизации – 0,53.

Рис. 1. Фрагмент ВШП STW резонатора на частоту 1500 МГц

Полученные размеры на резонаторе близки к размерам на шаблоне, разница в коэффициентах металлизации объясняется подтравливанием фоторезиста во время проявления и травления первого ванадия.

Частотная характеристика реальной и мнимой части входной проводимости резонатора на STW на частоту 1500 МГц показана на рис. 2 и 3 соответственно. Добротность резонатора составляет 3900, а эквивалентное сопротивление на резонансной частоте – 13 Ом, что позволяет использовать резонатор как частотно-стабилизирующий элемент в СВЧ-генераторах. Однако в характеристиках заметны выбросы и провалы, а полученные значения параметров не являются предельными – в работе [2] представлен аналогичный STW резонатор на частоту 1900 МГц с добротностью 7200. Ухудшение параметров резонатора объясняется коэффициентом металлизации, превышающим оптимальное значение, и неполной очисткой подложки от следов ванадия.

Использование предложенного метода обратной фотолитографии позволяет изготавливать STW резонаторы в диапазоне до 2000 МГц. Малогабаритные СВЧ-генераторы на их основе, работают на основной моде и имеют большее подавление побочных спектральных

составляющих, чем традиционные генераторы с умножением частоты. Высокая добротность STW резонаторов, низкие потери, кварцевая стабильность частоты, большая механическая прочность и малые размеры корпуса – все это позволяет создавать СВЧ-генераторы с малой потребляемой мощностью и превосходными характеристиками.

Рис. 2. Частотная характеристика реальной части входной проводимости резонатора на STW

Рис. 3. Частотная характеристика мнимой части входной проводимости резонатора на STW

Заключение

Разработана технология изготовления СВЧ резонатора методом обратной фотолитографии с использованием позитивного фоторезиста для прямой фотолитографии. Изготовлены образцы СВЧ резонатора на ПАВ со следующими параметрами: частота 1500 МГц, добротность 9000.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пресс Ф.П. Фотолитографические методы в технологии полупроводниковых приборов и интегральных микросхем. М.: Сов. радио, 1978. 96 с.
2. High Q-factor STW-Resonators on AT-Cut of Quartz/ C.U. Kim [et al.] // Proc. IEEE Ultrason. Symp. 2007. P. 2582–2585.