

Л.М. ЛЫНЬКОВ  
С.В. ЖДАНОВИЧ  
Н.П. ПЕТРОВ  
В.А. БОГУШ

## ПРИМЕНЕНИЕ ЦИРКОНИЯ И ЕГО ОКСИДОВ В ТЕХНОЛОГИИ ИНТЕГРАЛЬНЫХ МИКРОСХЕМ

Одна из важных задач современной микроэлектроники — создание сверхпроводниковых интегральных микросхем (ИМС). Применение сверхпроводниковых материалов в радиоэлектронной аппаратуре позволяет решать ряд проблем: повышение чувствительности приемо-передающих систем спутниковой и космической связи, увеличение быстродействия приборов, уменьшение диссипации энергии. Основные области использования сверхпроводящих материалов в криоэлектронике: пассивные СВЧ-элементы, межэлементные соединения в ИМС, различные полупроводниково-сверхпроводниковые гибридные элементы, слабосвязанные сверхпроводящие структуры. Поэтому в настоящее время актуальной является задача разработки методов формирования микроэлементов из высокотемпературных сверхпроводников (ВТСП).

Другая проблема — увеличение степени интеграции ИМС. В этой связи важной является задача создания элементов субмикронных размеров. Это, в первую очередь, активные элементы, пассивные элементы и металлизация ИМС, различные системы микроострий, которые могут найти широкое применение при изготовлении различного рода датчиков (например содержания кислорода) и для изучения свойств субмикронных структур.

В последние годы в связи с обострением энергетических проблем в мире и крайне напряженным балансом электроэнергии и топлива в Беларуси привлекает внимание такой источник электроэнергии как солнечные батареи на базе солнечных элементов на основе кремния. В этой связи актуальными становятся исследования по совершенствованию солнечных элементов — альтернативных источников электроэнергии, которые при условии реализации программы по развитию солнечной энергетики позволят обеспечить до 30% требуемой в республике электроэнергии.

Применяемые в настоящее время сверхпроводящие материалы — ВТСП на основе керамики, содержащих атомы меди, кислорода и редкоземельных элементов. Такие материалы очень чувствительны к различного рода внешним воздействиям, изменению стехиометрического состава, а также достаточно хрупкие. Из-за большого коэффициента термодиффузии кремния в пленку ВТСП и кислорода в кремний происходит ухудшение свойств как ВТСП-материала, так и материала подложки. Поэтому при нанесении пленок ВТСП на кремниевую подложку применяют буферные слои. Хорошими буферными свойствами обладают высокотекстурированные кубические пленки  $ZrO_2(Y_2O_3-10\%)$ . Их получают анодированием тонких пленок  $Zr(Y-10\%)$  в 0.1% водном растворе лимонной кислоты с последующим сверхскоростным (1с) высокотемпературным ( $T_{отж} = 930^\circ C$ ) [1]. Исследование кристаллической структуры диоксида циркония методом рентгеновской дифрактометрии показало, что анодный  $ZrO_2$  имеет, в основном, кубическую структуру со степенью текстурированности  $A \approx 93.6\%$ . Буферные свойства оценивали по распределению кремния, циркония и кислорода по толщине пленок  $ZrO_2$ , снятом на ВИС Сатеса IMS4F. Установлено, что количество кремния, проникшего через анодную оксидную пленку ничтожно мало и на полтора порядка меньше по сравнению с термическим оксидом циркония. Кроме того, коэффициент термического расширения полученного буферного слоя близок по величине к коэффициенту термического расширения ВТСП материалов.

Для формирования конфигурации микроэлементов из ВТСП материалов с высокой температурой перехода в сверхпроводящее состояние и высокой плотностью критического тока перспективными оказались методы с использованием технологического процесса взрывной литографии по слоям тугоплавких металлов. В качестве материала маски для взрывной литографии используется Zr. Его применение базируется на свойстве деструктурируемости формируемого термического  $ZrO_2$  при импульсном высокотемпературном термическом отжиге тонких пленок Zr [1]. Было проведено нанесение пленок ВТСП ( $YBaCuO$ ) на кремниевую подложку с применением Zr в качестве маски для обратной литографии и анодного  $ZrO_2 (Y_2O_3-10\%)$  в качестве буферного слоя [2].

Для создания элементов субмикронных размеров может быть использовано увеличение объема при окислении тонких пленок. Коэффициент объемного термического расширения для Zr составляет  $-2$ . Для получения элементов субмикронных размеров на кремниевой подложке

электронно-лучевым методом формируется слой циркония толщиной 0,2–0,5 мкм. С применением стандартных методов литографии производится вытравливание канавки с размерами минимального разрешения литографии в травителе состава: HF — 9,7%, HCl — 35,4%, Zn — 11,5%, H<sub>2</sub>O — остальное (рис. 1). Затем производится термическое окисление циркония при  $T = 500^{\circ}\text{C}$  в течение 10 мин. В результате увеличения в размерах полученного термического ZrO<sub>2</sub> по сравнению с базовым материалом уменьшается ширина канавки, и могут быть получены размеры элементов менее минимального разрешения используемого фотолитографического процесса (рис. 2). Таким образом можно получать субмикронные элементы ИМС без использования электронно-лучевой или более высокоразрешающей литографии.

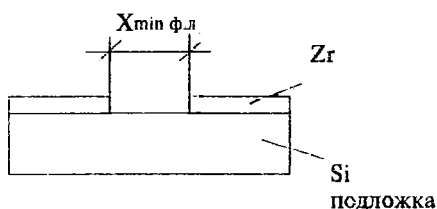


рис. 1

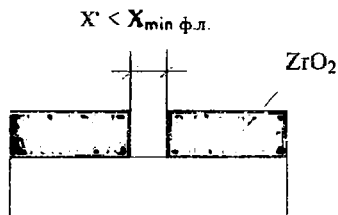


рис. 2

Для создания микроострий субмикронных размеров использовалась анодная обработка двухслойной системы Zr–Al на кремниевых подложках. Вначале производили пористое анодирование алюминия, а с момента достижения фронтом анодирования поверхности циркония, производили плотное анодирование. Были получены микроострия высотой до 0,3 мкм за счет формирования в порах Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> диоксида циркония по форме пор. Разработанный процесс позволяет получать до 4000 микроострий на 1 мкм<sup>2</sup>. Данные системы микроострий используются для формирования в сверхпроводнике микронеоднородностей субмикронных размеров для создания искусственных центров пиннинга. Они также перспективны для изготовления датчиков содержания кислорода, и могут быть применены для изучения физической структуры и характеристик субмикронных элементов.

В рамках проблемы совершенствования солнечных элементов важный характер имеют исследования, направленные на создание между кремниевым солнечным элементом и защитным кварцевым стеклом просветляющего покрытия с показателем преломления, близким к 2.2 – 2.5 [3]. При этом важным фактором является стеклообразная, плотная, бездефектная структура пленок с постоянным показателем преломления по всей толщине пленки. С учетом требуемых значений показателей преломления и ширины запрещенной зоны, а также морфологии покрытия подходящими являются анодные пленки  $\text{HfO}_2 - \text{ZrO}_2(\text{Y}_2\text{O}_3 - 10\%)$ , подвергнутые сверхскоростному высокотемпературному отжигу при температуре  $900^\circ\text{C}$  длительностью 1 с [2], для таких пленок показатель преломления равен 2.17.

Таким образом, анодный и термический  $\text{ZrO}_2$  являются весьма перспективными материалами в технологии микроэлектроники, в частности крио-ИМС. Их применение позволяет создавать воспроизводимые по параметрам сверхпроводниковые микроструктуры, субмикронные элементы, что позволяет решить сложные технологические задачи микроэлектроники и создать качественно новые микроэлектронные структуры.

#### Литература.

1. N. Petrov, V. Bogush, A. Gurov. “ $\text{ZrO}_2$  buffer layers on the glass substrates”, материалы конференции “Современные средства связи”, Нарочь 1995, сс. 157–160.
2. С.В. Жданович, Н.П. Петров, В.А. Богуш, В.И. Захаров, А.И. Гуров. “Использование тонких пленок циркония для формирования микроструктур из высокотемпературных сверхпроводников”, “Вестник связи”, 2, 1996, с. 45.
3. Сергеев О.А., Шашков А.Г. Теплофизика оптических сред., Мн.: “Наука и техника”, 1983, 232 с.