

- Кучинский В.И., Портной Е.Л., Смирницкий В.Б. // Письма в ЖТФ. 1989. Т. 15. № 17. С.47-51.
- [3] Lau K.Y., Yarov A. // IEEE J. Quantum Electron. 1985. V. QE-21. No 2. P. 121-138.
- [4] Гурьев А.И., Дерягин А.Г., Куксенков Д.В., Кучинский В.И., Портной Е.Л., Смирницкий В.Б. Сб. Основные результаты научной деятельности ФТИ. 1989.
- [5] Кижаяев К.Ю., Куксенков Д.В., Кучинский В.И., Никишин С.А., Портной Е.Л., Смирницкий В.Б. // Письма в ЖТФ. 1988. Т. 14. № 9. С. 267-274.
- [6] Kogelnik H., Shank C.V. // J. of Appl. Phys. 1972. V. 43. No 5. P. 2327-2335.
- [7] Streifer W., Burnham R.D., Scifres D.R. // IEEE J. Quantum Electron. 1975. V. QE-11. No 4. P. 154-161.
- [8] Su C.B., Lanzisera V.A. // IEEE J. Quantum Electron. 1986. V. QE-22. No 9. P. 1568-1578.

Физико-технический
институт им. А.Ф. Иоффе
АН СССР,
Ленинград

Поступило в Редакцию
5 октября 1990 г.

Письма в ЖТФ, том 16, вып. 21 12 ноября 1990 г.
10; 11; 12

© 1990

ФОРМИРОВАНИЕ ТОНКИХ ПЛЕНОК
МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ МЕТАЛЛОКСИДОВ
МЕТОДОМ РЕАКТИВНОГО ИОННО-ЛУЧЕВОГО РАСПЫЛЕНИЯ

А.П. Гесь, А.В. Зубец,
А.И. Стогний, В.В. Токарев,
В.В. Федотова

В настоящее время проводятся интенсивные исследования, целью которых является формирование тонких (толщиной 0,05-1 мкм) металлоксидных пленок (ТМОП) заданного, в том числе сложного, состава площадью более 50 см². Это связано с перспективностью применения ТМОП в микроэлектронике в качестве диэлектрических слоев при создании СБИС-структур, а также для стабилизации под-

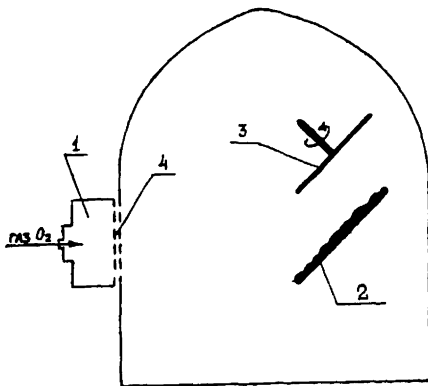


Рис. 1. Установка реактивного ионно-лучевого распыления.

ложек и напыления высокотемпературных сверхпроводящих пленок [1]. Наиболее распространенным методом получения ТМОП является метод распыления в среде инертного газа с добавками кислорода спеченных мишеней или мишеней из сплава металлов с последующим осаждением распыленного материала на подложку. Существенным недостатком данного метода является наличие эффекта преимущественного распыления указанных мишеней, который приводит к сложной, нестационарной зависимости состава ТМОП от состава мишени [2]. Кроме того, состав полученных ТМОП является обедненным по содержанию кислорода, поэтому после стадии нанесения требуется проведение дополнительной стадии окисления пленок. В данной работе исследуется процесс формирования пленок $SrTiO_3$, $BaTiO_3$ и $V_3Fe_5O_{12}$ распылением в среде кислорода пучком ионов кислорода мишеней из смесей порошков соответствующих оксидов и карбонатов. Определены составы мишеней и параметры их распыления для получения однородных по толщине на площади до 80 см^2 пленок стехиометрического состава с толщиной $60\text{--}300 \text{ нм}$, приведены электрофизические характеристики пленок.

Экспериментальная система для нанесения ТМОП была изготовлена на базе вакуумного поста установки УВН-71М и показана на рис. 1. Она содержит широкоапертурный источник ионов на основе двухкаскадного самостоятельного разряда низкого давления с холодным полым катодом 1 [3], кювету 2, загружаемую смесью порошков, и подложку 3, устанавливаемую в держатель, снабженный вводом вращения. Выбор данного типа источника ионов обусловлен его стабильной работой в среде кислорода в течение сотен часов, что позволяет поддерживать постоянными параметры распыления от подложки к подложке. Источник ионов снабжен двухсеточной системой извлечения 4 размером $60 \times 110 \text{ мм}^2$, размеры кюветы $120 \times 120 \text{ мм}^2$, расстояние между ними 200 мм , угол наклона кюветы к оси источника ионов 60° . Подложка 3 (обычно монокрис-

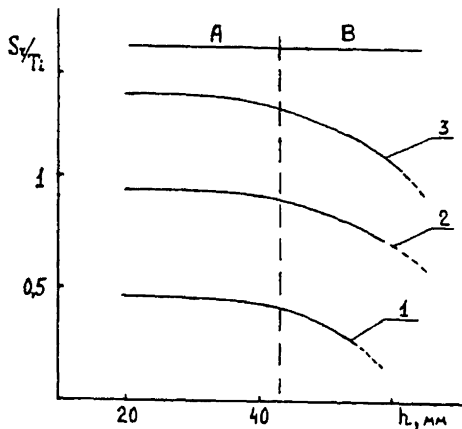


Рис. 2. Зависимости относительного состава пленок от расстояния мишень-подложка.

талла кремния ϕ 76 мм или ϕ 100 мм) параллельна плоскости кюветы и смещена относительно большей грани последней вверх на 90 мм. Расстояние кювета-подложка варьируется в пределах 20–70 мм. Экспериментальная система откачивается до предельного вакуума 10^{-3} Па, рабочее давление составляет $2.5 \cdot 10^{-2}$ Па при величине напуска кислорода $8 \text{ см}^3 \cdot \text{атм/мин}$ через анод источника ионов. Источник ионов поставляет пучок ионов кислорода с плотностью тока 0.45 мА/см^2 и энергией 1.2 кэВ, неравномерность плотности тока не превышает 5% на площади $60 \times 110 \text{ мм}^2$, угол расходимости пучка составляет менее 10° . Кювета и подложка находятся при комнатной температуре. Смесь порошков готовится перетиранием в ступке в течение 30 мин порошков реактивов, необходимых для получения заданного состава пленки взятых в различных соотношениях.

Химический состав ТМОП и его связь с условиями распыления анализировались методами обратного резерфордовского рассеяния и электронно-зондового микроанализа. Согласно анализу, состав пленок, полученных при неизменных условиях распыления за промежутки времени различной продолжительности, остается неизменным. Однако отношение между компонентами металлов существенно отличается от содержания металлов в мишени. Оно зависит как от состава мишени, так и от расстояния между мишенью и подложкой. На рис. 2 приведены зависимости отношения $Sr:Ti$ в ТМОП от расстояния кювета-подложка для определенного состава порошка (кривая 1 – смесь $SrCO_3 + TiO_2$ с содержанием $Sr:Ti = 1:1$, 2 – $3:2$, 3 – $2:1$). Кривые имеют два характерных участка – участок А, соответствующий интервалу расстояний 20–40 мм, на котором соотношение $Sr:Ti$ постоянно, и участок В, соответствующий большим расстояниям, где соотношение $Sr:Ti$ изменяется, что связано

Состав ТМОП	Состав мишени	Ток утечек до отжига, А/мкм ²	Ток утечек после отжига, А/мкм ²	Диэлектрич. проницаемость
$SrTiO_3$	$SrCO_3 + TiO_2$ $Sr:Ti = 3:2$	$3 \cdot 10^{-18}$	$7 \cdot 10^{-18}$	650-700
$BaTiO_3$	$BaCO_3 + TiO_2$ $Ba:Ti = 1:1$	$2 \cdot 10^{-20}$	$8 \cdot 10^{-20}$	930-960
$Y_3Fe_5O_{12}$	$Y_2O_3 + Fe_2O_3$ $Y:Fe = 3:1$	$9 \cdot 10^{-18}$	$4 \cdot 10^{-17}$	25-30

с различием в значениях длин свободного пробега распыленных частиц. Сравнение соотношения $Sr:Ti$ на участках А кривых 1-3 свидетельствует о существовании линейной зависимости между изменениями составов мишени и пленки. Это обстоятельство позволяет регулировать соотношение компонентов металлов в ТМОП путем корректировки состава исходной мишени.

Скорость нанесения ТМОП незначительно изменяется в пределах участка А и составляет ~ 1 нм/мин, на участке В она существенно уменьшается. Для полученных ТМОП характерно высокое содержание кислорода (около 60%) и наличие диэлектрических свойств. Присутствие углерода в пленках не обнаружено.

Аналогичные результаты были получены при исследовании процесса распыления смесей $BaCO_3 + TiO_2$ и $Y_2O_3 + Fe_2O_3$. Исходя из этого, можно сделать следующие выводы: 1) при распылении смесей порошков оксидов и карбонатов ионами кислорода в среде кислорода, в отличие от процесса распыления сплавных и спеченных синтезированных мишеней, значения парциальных коэффициентов распыления компонентов исходных смесей не зависят от времени и друг от друга; 2) достаточное вхождение кислорода в состав пленок обеспечивается непосредственно на стадии нанесения.

Установленные закономерности распыления смесей порошков оксидов и карбонатов металлов позволили получить на монокристаллическом кремнии пленки $SrTiO_3$, $BaTiO_3$ и $Y_3Fe_5O_{12}$ толщиной 60-300 нм, неоднородность по толщине и составу которых на площади до 80 см² не превышала 10%. Составы исходных мишеней и основные электрофизические параметры ТМОП приведены в таблице. Термообработка пленок проводилась в сухом кислороде в диапазоне температур до 800 °С и времен до 30 мин. Как до, так и после термообработки, пленки, согласно наблюдениям в растровый электронный микроскоп, имеют гладкую поверхность, а их электронограммы указывают на отсутствие кристаллической структуры.

Токи утечек ТМОП незначительно возрастают после термообработки и имеют низкие значения (на уровне 10^{-18} - 10^{-20} А/мкм²), что свидетельствует об однородности структуры пленок и обеспечивает достижение величинами диэлектрической проницаемости характерных для массивных образцов значений. Спектры обратного резерфордского рассеяния указывают на наличие четкой границы раздела пленка-подложка (в пределах точности определения ~ 50 Å)

и на обогащение состава пленок при термообработке кислородом на 10–15% при неизменности соотношений между металлическими компонентами.

Таким образом, представленный метод распыления ионами кислорода в кислородной среде смесей порошков оксидокарбонатов обеспечивает непосредственное, одностадийное получение однородных по площади и толщине металлоксидных пленок с требуемым соотношением между металлическими компонентами и значительным содержанием кислорода в составе. Пленки на кремнии обладают высокими диэлектрическими свойствами и сохраняют аморфность состояния наряду с неизменностью состава металлических компонентов при высокотемпературной обработке в кислороде. Это определяет перспективность применения данных пленок для повышения характеристик МДП–конденсаторов. В кристаллическом состоянии пленки составов $SrTiO_3$ и $BaTiO_3$ могут использоваться в качестве буферных слоев при нанесении ВТСП–пленок на кремний.

С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] Д а н и л и н Б.С. Применение низкотемпературной плазмы для нанесения тонких пленок. М.: Энергоатомиздат, 1989. 262 с.
- [2] Распыление твердых тел ионной бомбардировкой. Вып. 11 / Пер. с англ. под ред. Р. Бернша. М.: Мир, 1986. 488 с.
- [3] S t o g n i j A.I., T o k a r e v V.V. Materials Research Society Symposium Proceeding, Fall Meeting 1990. Boston, 1990. V. 100. P. 162.

Институт физики
твердого тела и полупроводников
АН Белорусской ССР, Минск

Поступило в Редакцию
26 июля 1990 г.

Письма в ЖТФ, том 16, вып. 21

12 ноября 1990 г.

05.2

© 1990

СТАТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПАРЫ ВБЛ В СКРУЧЕННОЙ ДОМЕННОЙ ГРАНИЦЕ (СДГ)

В.И. Б е р е с н е в, А.В. Н и к и т и н,
Б.Н. Ф и л и п п о в

Известно, что в твердотельных запоминающих устройствах со сверхвысокой плотностью записи в качестве носителя информации используется $-2\mathcal{L}$ пара вертикальных блоховских линий (ВБЛ). В связи с этим большой интерес представляет исследование ее