- И.С. Ташлыков, С.М. Барайшук. Известия ВУЗов. Порошковая металлургия и функциональные покрытия 1, 30 (2008).
- О.М. Михалкович, И.С. Ташлыков, И.И. Ташлыкова-Бушкевич, Ю.С. Яковенко, В.С. Куликаускас, С.М. Барайшук, О.Г. Бобрович. ВИТТ 11,248 (2015).
- 5. Л.Фельдман, Д.Майер. Основы анализа поверхности тонких пленок. Мир, М. (1989). 344 с.
- 6. D. Muracami, H. Jinnai, A. Takahara. Langmuir 30, 2061 (2014).

## ФОРМИРОВАНИЕ ИЗОЛЯЦИИ МЕЗАСТРУКТУР ИНТЕГРАЛЬНЫХ СХЕМ НА АРСЕНИДЕ ГАЛЛИЯ

## Е. В. Телеш

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, etelesh@mail.ru

Самым простым методом изоляции активных элементов в интегральных схемах на арсениде галлия является травление рабочего эпитаксиального слоя до полуизолирующей подложки или до буферного слоя. С целью планаризации рельефа области между полученными мезаструктурами заполняются слоем диэлектрика толщиной равной толщине активного слоя. Сформированные диэлектрические слои должны выдерживать воздействие последующих технологических процессов, протекающих при сравнительно высоких температурах 350–450 °C – формирование пассивации, вжигание омических контактов, присоединение внешних выводов методом термокомпрессии.

На рисунке 1 приведена последовательность операций формирования диэлектрической изоляции между мезаструктурами. На поверхности *n*-GaAs методом фотолитографии формируется маска из фоторезиста и проводится травление эпитаксиального слоя до полуизолирующей подложки. На полученную структуру наносится пленка диэлектрика, далее осуществляется удаление фоторезистивной маски в органическом растворителе. Нанесение диэлектрического слоя должно осуществляться при температуре подложки  $T_n \le 100$  °C, чтобы исключить задубливание фоторезистивной маски.



Рисунок 1. – Последовательность операций формирования изоляции между мезаструктурами

Для формирования изоляции применялось ионно-лучевое распыление, которое позволяет наносить диэлектрические пленки при низкой температуре подложки. Проведено формирование диэлектрических слоев из SiO<sub>2</sub> и Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. В качестве подложки применялись эпитаксиальные структуры арсенида галлия, выращенные на изолирующей подложке i-n типа АГЭ ЕТО.035.026 ТУ. Изолирующие слои из SiO<sub>2</sub>

формировались ионно-лучевым распылением мишени из кварца, а Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – реактивным ионно-лучевым распылением алюминия. Режимы нанесения в первом случае были следующими: остаточное давление  $2,6\cdot10^{-3}$  Па, рабочее давление аргона  $6,65\cdot10^{-2}$  Па, ускоряющее напряжение на аноде  $U_a=2,0-4,0$  кВ, ток разряда  $I_p=60$  и 100 мА, ток термокомпенсатора  $I_{\kappa}=9,5$  *A*,  $T_{\Pi} \sim 40$  –75 °C. Толщина диэлектрического слоя составила около 200 нм. Формирование пленки Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> реактивным распылением мишени из алюминия проводили при парциальном давлении кислорода  $2,66\cdot10^{-2}$  Па, давлении аргона  $5,3\cdot10^{-2}$  Па, U<sub>a</sub> =3 кВ, токе мишени 66 мА. Толщина диэлектрика составила ~ 0,4 мкм.

Перед напылением диэлектрических слоев осуществлялась обработка поверхности арсенида галлия, которая включала в себя очистку пластин этиловым спиртом, химическое травление эпитаксиального слоя арсенида галлия в аммиачноперекисном растворе в течение 4 мин с последующей промывкой в дистиллированной воде и сушкой на центрифуге. Ионная очистка проводилась непосредственно перед нанесением изолирующего слоя. Напряжение на аноде при очистке составляло 1,5 кВ, ток ионов аргона – 30 мкА. Адгезия изолирующих слоев измерялась методом нормального отрыва. Результаты измерений приведены в таблице.

Таблица

№ п/п	U <sub>а</sub> , кВ	I <sub>р</sub> , мА	I <sub>к</sub> , А	U <sub>0</sub> , кВ	I <sub>0</sub> , мкА	Т <sub>л</sub> , 0С	Р, МПа
1	3,0	60	9,5	1,5	30	70	2,1
2	3,0	100	9,5	-	-	75	2,9
3	2,0	60	9,5	-	-	70	2,4
4	4,0	60	9,5	-	-	75	2,2
5	3,0	100	-	-	-	40	2,4

Результаты исследования адгезии диэлектрического слоя из SiO<sub>2</sub> от режимов нанесения

Установлено, что с ростом тока разряда происходит повышение адгезии изолирующего слоя. Влияние ускоряющего напряжения на адгезию неоднозначно.

Были проведены испытания полученных структур на воздействие 500 термоциклов 20–200 °C на воздухе и термообработки в вакууме при 450 °C в течение 5 мин. Внешний вид мезаструктур изучался на оптическом микроскопе. Полученные образцы успешно прошли вышеуказанные испытания. На рисунке 2 приведен внешний вид образца мезаструктур с изоляцией.



Рисунок 2. – Внешний вид образца с изоляцией мезаструктур

Установлено, что ионная очистка поверхности арсенида галлия перед нанесением диэлектрика существенно повышает адгезию и качество изоляции мезаструктур. Однако следует отметить, что применение диоксида кремния не обеспечивает необходимого качества изоляции по сравнению с Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Это может быть связано с большим отличием температурных коэффициентов расширения SiO<sub>2</sub> и GaAs.

Для сравнения было осуществлено формирование изоляции мезаструктур слоем из фторида магния, полученного резистивным термическим испарением. Анализ внешнего вида образцов показал, что использование термического испарения не позволяет сформировать качественную изоляцию.

Установлено, что при распылении кварцевой мишени может происходить задубливание фоторезистивной маски из-за нагрева излучением вольфрамовой нити термокомпенсатора. Поэтому предпочтительно формирование диэлектрического слоя реактивным ионно-лучевым распылением.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕРМОСТОЙКОСТИ ГЕТЕРОСТРУКТУР «ДИЭЛЕКТРИК – GaAs»

## Е.В.Телеш

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, etelesh@mail.ru

В технологии микроэлектронных устройств на арсениде галлия гетероструктуры «диэлектрик-GaAs» применяют для изолирующих слоев, для защитных покрытий при отжиге ионноимплантируемых слоев, для диэлектриков в МДП структурах, в качестве пассивирующих слоев для активных структур, для изоляции мезаструктур и в многоуровневых системах металлизации, для вспомогательных технологических слоев. Гетероструктуры «диэлектрик-арсенид галлия» должны иметь высокую адгезию диэлектрика к GaAs, низкую плотность поверхностных состояний на границе раздела, воспроизводимость свойств границы раздела «диэлектрик-арсенид галлия», низкий уровень механических напряжений, высокую термостабильность и термостойкость, стойкость к воздействию влаги, радиации.

Термостабильность и термостойкость гетероструктуры «диэлектрик/арсенид галлия» является важным фактором, обеспечивающим высокую надежность гетероструктуры при последующей эксплуатации и при высокотемпературных технологических обработках. Поэтому были проведены эксперименты по исследованию термостойкости гетероструктур «SiO<sub>2</sub>/GaAs», полученных ионно-лучевым распылением кварцевой и кремниевой мишеней.

Формирование пленки SiO<sub>2</sub> распылением кварцевой мишени проводили при следующих режимах: остаточное давление в камере –  $2,4\cdot10^{-3}$  Па; парциальное давление кислорода –  $9,33\cdot10^{-3}$  Па; давление аргона –  $6,6\cdot10^{-2}$  Па; ускоряющее напряжение  $U_a - 2$  и 3 кВ; ток компенсатора – 13 А. Температура подложки не превышала 100 °С (нагрев от излучения вольфрамовой нити термоэлектронного компенсатора). Перед нанесением диэлектрика проводилась химическая очистка поверхности арсенида галлия, а непосредственно в камере – очистка ионами аргона с энергией 1 кэВ. Толщина диэлектрика составила ~ 0,3 мкм.