

# Разработка маршрутной технологии изготовления ионоселективных кремниевых МОП-транзисторов

А. Камышева<sup>1</sup>

УДК 621.382.323 | ВАК 05.11.14

Анализ вольт-амперных характеристик ионоселективных полевых транзисторов с мембранами на основе оксидов металлов [1], проведенный в рамках исследования по созданию прототипа чувствительного элемента для датчиков загрязнения воды, показал их одинаковую чувствительность к маркеру загрязнения – ионам водорода. В настоящей статье автором предложена маршрутная технология изготовления транзисторов с мембранами на основе оксидов алюминия, ниобия и тантала, включающая использование фосфорсодержащих анодных оксидных пленок в качестве источника диффузии и подзатворного диэлектрика.

**Н**а этапе выбора технологии для изготовления ионоселективных полевых транзисторов (далее – ИСПТ) было принято решение о применении фотолитографии для создания областей истока и стока транзистора, вакуумное напыление алюминия – для создания подзатворного диэлектрика (мембраны), в случае применения в качестве мембран оксидов тантала или ниобия – ионно-лучевое распыление.

В работах [2, 3] приведена маршрутная технология изготовления кремниевых МОП-транзисторов с применением фосфорсодержащих легированных анодных оксидных пленок (далее – ФАОП) в качестве источника диффузии и подзатворного диэлектрика.

Технологический процесс изготовления кремниевого МОП-транзистора с индуцированным каналом с использованием одностадийной диффузии фосфора (Р) в кремний (Si) из ФАОП с различным уровнем легирования включает следующие основные этапы:

1. Формирование сильнолегированной ФАОП.
2. Фотолитография под области стока и истока с применением фоторезиста ФП-383.
3. Формирование нелегированной анодной оксидной пленки.
4. Создание областей истока, стока диффузией Р из ФАОП.
5. Вскрытие контактных окон.
6. Нанесение алюминиевой металлизации.
7. Анодирование алюминия.

Ниже изложено описание предлагаемого автором технологического маршрута изготовления транзисторов с мембранами на основе оксидов Al, Ni, Ta.

Формирование сильнолегированной ФАОП (рис. 1а) на кремниевых подложках марки КДБ-1 диаметром 35 мм проводили на установке с вакуумной присоской в этиленгликолевом электролите (далее – ЭГ) с массовой долей  $H_3PO_4$  (плотность 1,68 г/см<sup>3</sup>), равной 11,58% при  $T_{эл} = 295$  °К,  $j_r = 50$  А/м<sup>2</sup>,  $U_\phi = 190$  В,  $j_k = 10$  А/м<sup>2</sup> ( $T_{эл}$  – температура электролита,  $U_\phi$  – формирующее напряжение,  $j_r$  – первоначальная плотность тока анодирования,  $j_k$  – конечная плотность тока анодирования).

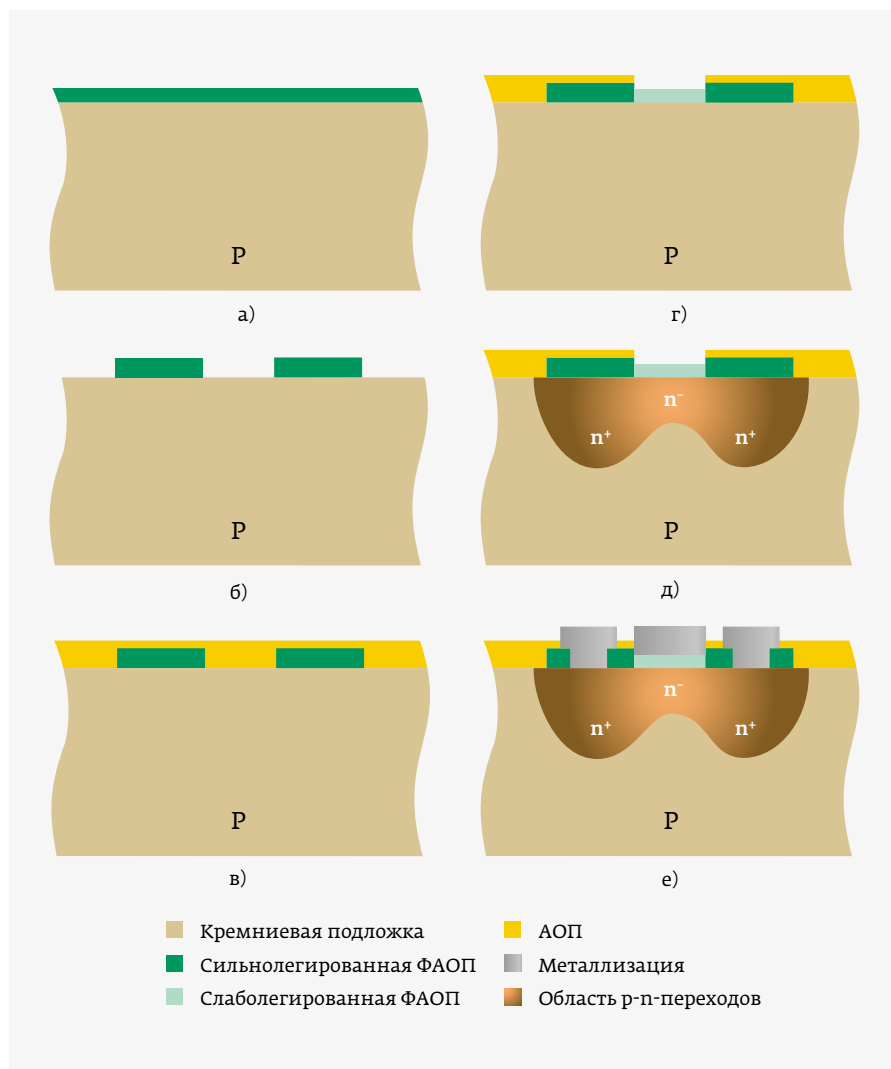
После фотолитографии, в результате которой сильнолегированная ФАОП оставалась только над областями истока и стока размерами 200×400 мкм<sup>2</sup> (рис. 1б), выращивали маскирующую анодную оксидную пленку (далее – АОП) в электролите с массовой долей  $HNO_3$  (плотность 1,41 г/см<sup>3</sup>) 0,19% при тех же значениях  $j_r$ ,  $j_k$ , но до  $U_\phi = 230$  В (рис. 1в). Затем вскрывали области над каналом шириной 15 мкм (рис. 1г) и формировали в них слаболегированную ФАОП при режимах анодирования, аналогичных этапу формирования сильнолегированной ФАОП, но в ЭГ с добавлением 0,19%  $HNO_3$  и 0,0015%  $H_3PO_4$ .

В результате диффузии фосфора при температуре 1423 °К в течение 2400 с в потоке азота были получены легированные слои областей стока, истока и канала с поверхностными сопротивлениями и глубинами залегания р-п-переходов, равными соответственно 8,7; 620 Ом/кв и 2,3; 0,9 мкм (рис. 1д).

Старый подзатворный диэлектрик стравливали и выращивали новый толщиной 0,2 мкм, также при условиях, аналогичных этапу формирования сильнолегированной ФАОП.

Перед вакуумным напылением пленки алюминия толщиной 0,2 мкм (рис. 1е) осуществляли термообработку при 773 °К в течение 3600 с в потоке азота. После напыления алюминия его анодировали в лимонной

<sup>1</sup> Филиал ПАО «Газпром газораспределение Ростов-на-Дону»  
в г. Таганроге, специалист по охране труда, a.khlebinskaya@mail.ru.



**Рис. 1.** Основные этапы маршрутной технологии изготовления МОП-транзистора со встроенным каналом с использованием одностадийной диффузии фосфора в кремний из ФАОП с различным уровнем легирования: а – формирование сильнолегированной ФАОП; б – фотолитография под области истока и стока, фоторезист ФП-383; в – формирование нелегированной маскирующей АОП; г – формирование слабелегированной ФАОП над каналом; д – создание областей истока, стока и канала диффузией фосфора из ФАОП; е – вскрытие контактных окон и нанесение алюминиевой металлизации

при комнатной температуре в гальваностатическом режиме при плотности тока 1 мА/см<sup>2</sup>.

Результаты измерений электрических параметров, проведенных на трех опытных образцах транзисторов с мембранами на основе оксида алюминия (начальный ток стока, ток утечки затвора, напряжение отсечки, крутизна вольт-амперной характеристики) показали работоспособность описанной технологии изготовления транзисторов. Поскольку

кислоте (концентрация  $C_{\text{лк}}=0,5-1$  г/л) при  $T_{\text{эл}}=363$  °К,  $U_{\text{ф}}=400-500$  В в течение 20–30 мин и получали пленку толщиной 0,2 мкм.

Формирование пленок Ta или Nb толщиной 0,3 мкм осуществляли ионно-лучевым распылением, которое проводили на модернизированной установке УРМ 3.279.045. Подложка размещалась на водоохлаждаемом держателе на расстоянии 120 мм от источника ионов, между источником ионов и держателем находилась подвижная заслонка. Перед напылением металлической пленки заслонку закрывали и проводили очистку поверхности мишени ионами аргона (напряжение разряда 5,5 кВ, плотность ионного тока на мишени 2,0–2,5 мА/см<sup>2</sup>, давление в камере  $(7,9-8,1) \cdot 10^{-2}$  Па, время обработки 3–5 мин). После очистки заслонку открывали и в том же режиме проводили напыление Nb и Ta, при этом температура поверхности подложки не превышала 330–350 °К. В качестве электролита использовали децимолярный раствор оксиэтилендифосфоновой кислоты  $\text{CH}_3\text{COH}(\text{PO}_3\text{H}_2)_2$  в этиленгликоле с содержанием 6,1М H<sub>2</sub>O. Анодирование проводилось

технология реализуется на обычном для микроэлектронной промышленности оборудовании, она легко может быть масштабирована для серийного производства.

### ЛИТЕРАТУРА

1. **Камышева А.** Сравнительный анализ вольт-амперных характеристик ионоселективных полевых транзисторов с мембранами на основе оксидов тантала, ниобия и титана // ЭЛЕКТРОНИКА: Наука, Технология, Бизнес. 2019. № 6. С. 106–108.
2. **Бредихин И. С., Волкова Т. А., Милешко Л. П., Палиенко А. Н., Чистяков Ю. Д.** Применение анодных окисных пленок, легированных фосфором, для изготовления МОП-транзисторов // В кн.: «Активируемые процессы технологии микроэлектроники». – Таганрог: Изд-во ТРТИ, 1976. Вып. 2. С. 206–209.
3. **Милешко Л. П., Варзарев Ю. Н., Махаринец А. В.** Модель МОП транзистора с фосфатной анодной оксидной пленкой кремния в качестве подзатворного диэлектрика // Известия ЮФУ. Технические науки. 2015. № 8 (169). С. 213–220.