

ИЗГОТОВЛЕНИЕ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПРИБОРОВ МЕТОДОМ ВНУТРЕННЕГО ФОРМИРОВАНИЯ СТРУКТУР

К. т. н. В. А. Солодуха, к. т. н. Ю. П. Снитовский, к. т. н. Я. А. Соловьев

ОАО «ИНТЕГРАЛ» — управляющая компания холдинга «ИНТЕГРАЛ»
Республика Беларусь, г. Минск
Yu.snitovsky@tut.by

Показана возможность создания мощных СВЧ-транзисторов методом ионного легирования кремния ионами B^+ через слой SiO_2 и эмиттерные окна с последующим введением ионов P^+ и отжигом в атмосфере Ar. Разработанный процесс обеспечивает снижение трудоемкости изготовления и улучшение частотных и мощностных характеристик транзисторов. Рассмотрено формирование карманов n - и p^- -типа КМОП-структур с применением маски, состоящей из SiO_2 без слоя Si_3N_4 . Разработанный процесс обеспечивает снижение трудоемкости изготовления и повышение выхода годных структур КМОП ИС, благодаря уменьшению остаточных напряжений (примерно в 100 раз) и дефектности в кремнии и совершенствованию методов легирования карманов.

Ключевые слова: мощный СВЧ-транзистор, КМОП ИС, фотолитография, SiO_2 , ионное легирование, самосовмещение, самоформирование.

Методы внутреннего формирования структур (самосовмещение и самоформирование) широко используются при производстве изделий микроэлектроники и позволяют снижать трудоемкость и улучшать воспроизводимость электрических параметров полупроводниковых приборов и интегральных схем [1]. Настоящая работа посвящена решению задачи формирования структур мощных СВЧ-транзисторов и КМОП ИС методами внутреннего формирования структур.

Особенность метода формирования биполярной транзисторной структуры [2] состоит в следующем. Маску формируют из термического SiO_2 толщиной h ($\approx 0,25$ мкм) внутри окна под базовую область, которое вскрывают фотолитографией в относительно толстом слое SiO_2 (0,9 мкм). Этот слой получают сочетанием процессов термического окисления эпитаксиальной структуры 10КЭФ1,8/350ЭКС0,01(111) и пиролитического осаждения SiO_2 перед легированием области охранного кольца.

Область охранного кольца легируют ионами примеси p -типа (B^+) через пленку SiO_2 по маске. После вскрытия в пленке SiO_2 эмиттерных окон проводят легирование базовой области путем одновременной имплантации ионов примеси p -типа (B^+) через слой SiO_2 и в эмиттерные окна (процесс самоформирования) с последующим легированием эмиттерных областей через эти же окна имплантацией ионов примеси n -типа (P^+) (процесс самосовмещения). Последующий отжиг структур, имплантированных примесями p - и n -типа, осуществляется в нейтральной среде (аргон).

Предложенный метод позволяет сократить количество операций при изготовлении транзисторных структур и предотвратить образование углубления в области перехода «база — коллектор», а также обеспечивает создание конфигурации базовой и эмиттерных областей. Это позволило повысить граничную частоту на 15%, КПД на 18%, снизить тепловое сопротивление «переход — корпус» на 20%, а также улучшить выходные вольт-амперные характеристики транзисторов.

Для реализации предложенного подхода для КМОП ИС в блоке охраны использовался метод внутреннего формирования структур, предложенный в [3] и усовершенствованный применительно к КМОП-технологии [4]. Особенностью данного метода является то, что на поверхности подложки кремния КЭФ4,5(100) формируют маску из термического SiO_2 толщиной h (0,1 — 0,2 мкм). Затем до создания рисунка кармана проводят имплантацию ионов n -типа (P^+) с коэффициентом сегрегации $m > 1$, а энергию ионов выбирают такой, чтобы их длина среднего проективного пробега Rp_n удовлетворяла условию $(Rp_n + 5\Delta Rp_n) \leq h$, где ΔRp_n — дисперсия пробега ионов n -типа. В свою очередь им-

плантацию ионов примеси p -типа (B^+) проводят после формирования маски фоторезиста, но до травления окисла, при этом энергию ионов выбирают такой, чтобы длина среднего проективного пробега ионов p -типа Rp_p была не меньше толщины маски: $Rp_p \geq h$.

Применение предложенного метода обеспечивает легирование кремния примесью n -типа из источника ограниченной концентрации. Кроме того, легирование происходит локально в процессе термической обработки, что обеспечивает удаление той части SiO_2 , которая находится в области p^- -кармана. Формирование областей p^- -кармана осуществляют через маски SiO_2 и фоторезиста примесью p -типа с $Rp_p \geq h$ с последующим удалением легированной части SiO_2 , что обеспечивает попадание необходимого количества примеси в область p^- -кармана.

В связи с использованием для диффузии в кремнии двух различных источников — легированного SiO_2 и легированного кремния — отпадает необходимость в использовании в качестве маски Si_3N_4 , что существенно (почти на 2 порядка) снижает остаточные напряжения в кремнии. Отжиг примесей карманов n - и p -типов проводят одновременно в едином технологическом цикле (процесс самосовмещения) в нейтральной среде (азот). Предложенный процесс обеспечивает снижение трудоемкости и повышение выхода годных КМОП ИС за счет исключения Si_3N_4 -маски и совершенствования методов легирования карманов.

Таким образом, показана возможность формирования областей базы и эмиттера мощных СВЧ-транзисторов путем последовательной имплантации ионов B^+ и P^+ через слой термического SiO_2 и эмиттерные окна в нем с последующим отжигом в нейтральной среде Ar, что обеспечивает формирование эмиттерных p - n -переходов, равноудаленных от коллекторного, на расстояние порядка толщины активного участка базы. Установлено, что новый процесс позволяет снизить трудоемкость изготовления и повысить граничную частоту на 1%, КПД на 18%, снизить тепловое сопротивление «переход — корпус» на 20 %, а также улучшить выходные вольт-амперные характеристики транзисторов. Кроме того, благодаря упрощению конструкции маски и технологического процесса ее формирования упрощается технология изготовления КМОП ИС с двумя карманами, где за счет исключения слоя Si_3N_4 снижена величина остаточных напряжений в поверхностных слоях кремния, что в свою очередь обеспечивает снижение дефектности и повышение выхода годных.

ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Янушонис С., Янушонене В. Самоформирование в полупроводниковой технологии.— Вильнюс: Мокслас, 1985.
2. А. с. 1828333 СССР. Способ изготовления транзисторов / Ю. П. Снитовский, А.П. Матюшевский.— Оpubл. 20.03.2012.— Бюл. № 8.
3. Snitovsky Yu. P. Lateral injection utilized for improving the performance of microwave bipolar transistors // Russian Microelectronics.— Vol. 31, N 4.— P. 292—298.
4. А. с. 1669333 СССР. Способ изготовления КМДП интегральных схем / В. Л. Круковский, Г. С. Чертов, Н. Н. Герасимчик, М. М. Кречко, Ю. П. Снитовский, А. Д. Воронин.— 2012.— Бюл. № 8.

V. A. Solodukha, Yu. P. Snitovsky, J. A. Solovjov

Manufacturing of semiconductor devices by internal formation of structures

The authors show the possibility of creating microwave power transistors by ion doping silicon with boron ions through the layer of thermal SiO_2 and the emitter window therein followed by the introduction into window ions of phosphorus and annealing in argon atmosphere. The new process provides decrease of labor input and improvement of frequency and power characteristics of transistors. A new manufacturing process is proposed and evaluated for CMOS memory circuits that are designed to decrease labor input and to increase yield. It essentially uses thermal SiO_2 instead of Si_3N_4 as the material of the mask for n^- - and p^- -wells, and employs an improved doping procedure for the wells. The new process is shown to decrease considerably the residual stress in the wafer.

Keywords: microwave power transistor, CMOS memory circuit, photolithography, SiO_2 , ion doping, self-alignment, self-formation.