

Оптимизация профиля распределения примеси в эпитаксиальных структурах N⁻/N⁺ на кремнии

Представлены результаты исследования, проведенного с помощью средств приборно-технологического моделирования, влияния профиля легирования эпитаксиального слоя N⁻/N⁺ на величину сопротивления, связанного с объемом полупроводника. На примере ДМОП-транзистора показана возможность существенного снижения сопротивления канала в открытом состоянии за счет параболического профиля распределения примеси в эпитаксиальном слое кремния.

Ключевые слова: ДМОП-транзистор, параболический профиль легирования.

В материалах фирмы «Harris» [1] показано, что относительный вклад сопротивления, связанного с объемом полупроводника для типичного кристалла МОП-транзистора при предельном напряжении открытого канала (сток – исток) составляет: 40 В – 35 %, 150 В – 70 %, 500В – 97 %, поэтому была предпринята попытка снизить величину сопротивления за счёт переменного профиля легирования эпитаксиального слоя.

Было смоделировано несколько вариантов профиля – одно-, двух- и многоступенчатого. Наиболее результативным оказалось параболическое распределение примеси по толщине эпитаксиального слоя. На рис. 1 показаны результаты моделирования параболического распределения примеси для эпитаксиального слоя 60 мкм с варьированием расположения минимума концентраций легирующей примеси (или максимума удельного сопротивления эпитаксиального слоя).

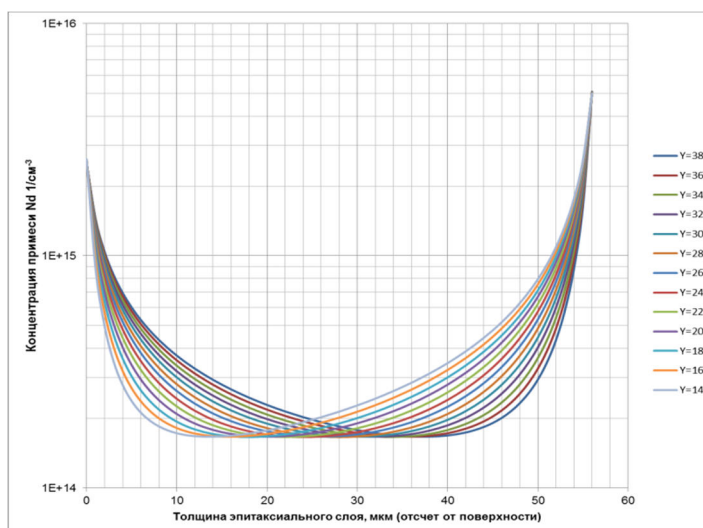


Рисунок 1

В зависимости от положения максимума удельного сопротивления (R_v) меняются величины отклонения напряжения пробоя и сопротивления открытого канала от соответствующих величин для профиля с однородным распределением примеси (рис. 2). При толщине эпитаксиального слоя (ЭС) 60 мкм и расположения максимума R_v на глубине 24 мкм от поверхности эпитаксиального слоя имеет место незначительное превышение величины напряжения пробоя ($U_{проб}$) на 1,5 % при значительном (25 %) увеличении тока открытого канала ДМОП – транзистора по сравнению с базовым вариантом с постоянным профилем распределения примеси. Еще большего увеличения величины тока (30 – 40%) и, соответственно, уменьшения удельного сопротивления открытого канала ($R_{си}$), можно достичь при сдвиге положения экстремума профиля R_v в сторону подложки.

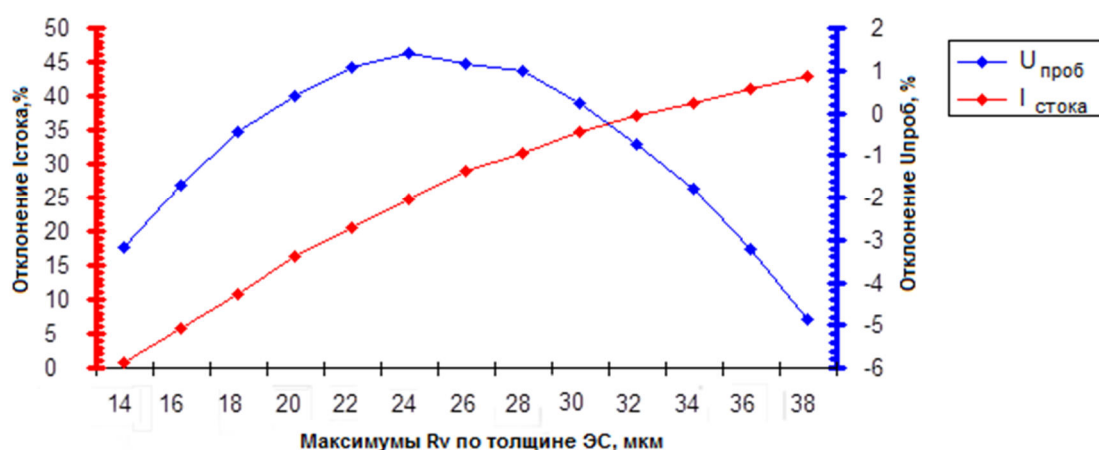


Рисунок 2

Разработка технологического процесса получения эпитаксиальных слоев кремния с параболическим законом распределения примеси проводилась на эпитаксиальном реакторе РЕ 3061. Данный реактор, предназначенный для эпитаксии кремния на пластинах диаметром 150 и 200 мм, позволяет достаточно точно воспроизвести задаваемое расчетом нелинейное распределение примеси в эпитаксиальном слое, благодаря отсутствию ограничений в программировании числа интервалов с изменением степени легирования.

Технологический процесс разрабатывался в три этапа:

1. Этап калибровки процесса по R_v ЭС (рис. 3).
2. Этап калибровки процесса с половинной толщиной ЭС для определения максимума R_v (рис. 4).
3. Этап проведения опытных процессов с веером максимумов R_v по толщине ЭС (рис. 5).

Измерения удельного сопротивления проводились с помощью CV – метода с использованием ртутного зонда на установке SSM 495 и SRP – метода определения сопротивления растекания тока точечного зонда на установке SSM 130.

В калибровочном процессе участвовали подложки кремния легированные сурьмой (КЭС) и мышьяком (КЭМ) с защитой нерабочей стороны от автолегирования низкотемпературным окислом (LTO). Результаты измерений, полученные CV – методом, показали более низкие значения удельного сопротивления ЭС, чем полученные SRP – методом. Так как CV – метод обладает большей экспрессностью получения результатов измерений, то именно он послужил основным инструментом в работе контроля удельного сопротивления эпитаксиального слоя.

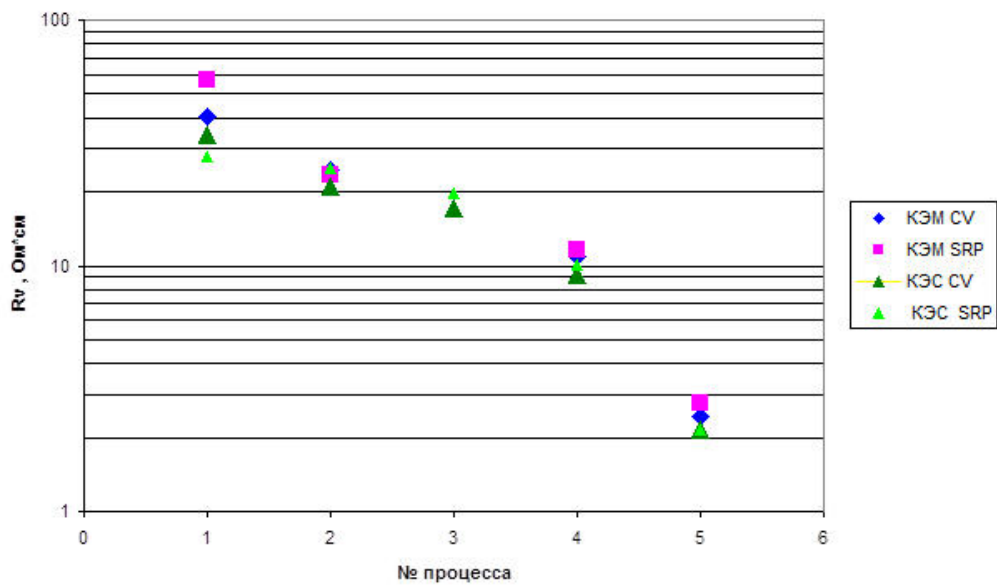


Рисунок 3

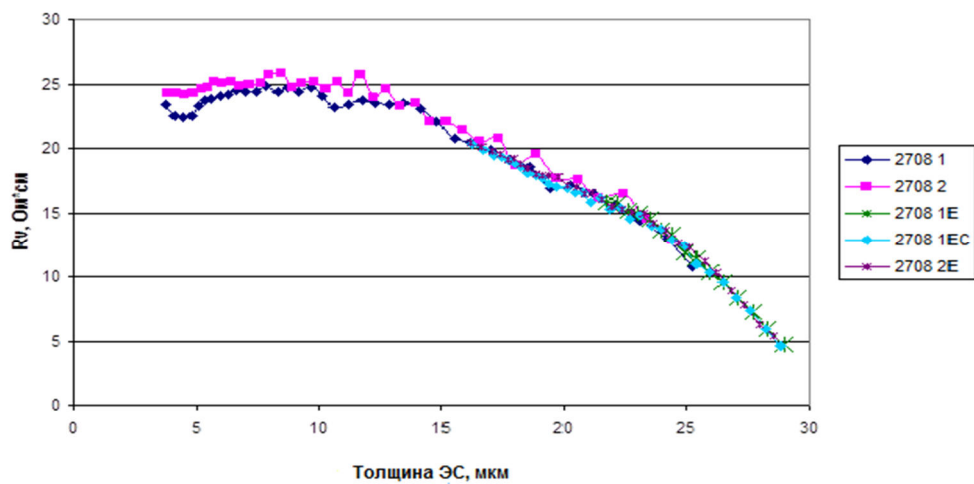


Рисунок 4

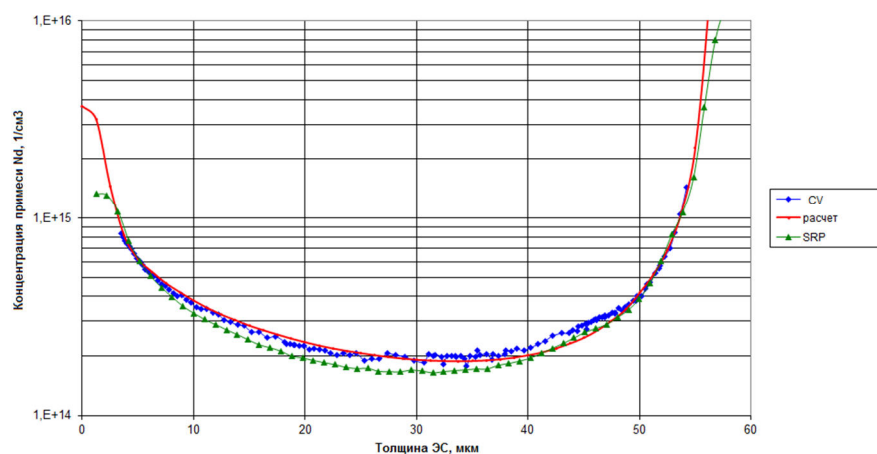


Рисунок 5

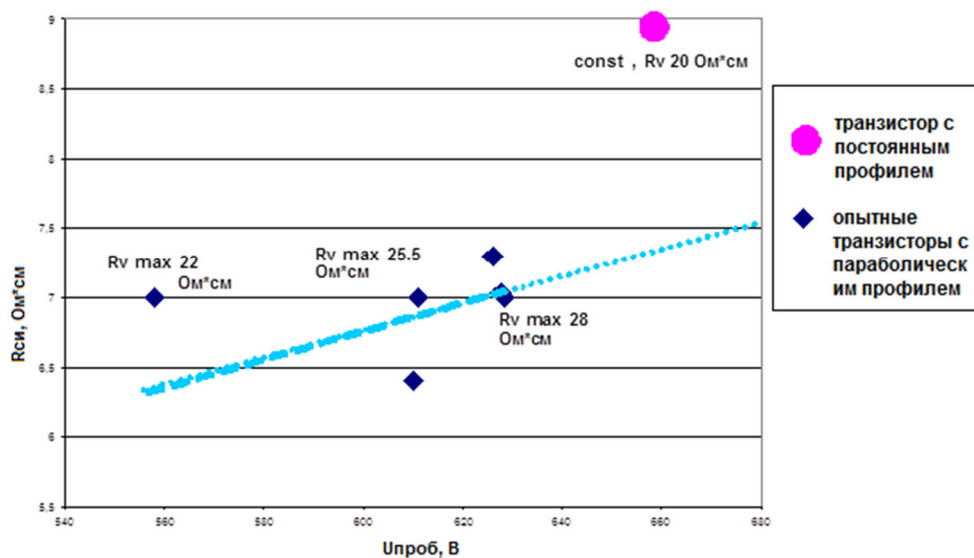


Рисунок 6

Исследование показало, что Упроб ниже расчетного на 8 %, но при этом Rси на 20 % ниже, что подтверждает эффективность применения закона параболического распределения примеси в эпитаксиальном слое кремния.

В заключении выражаем благодарность Клычникову М.И. за изготовление опытных образцов ДМОП-транзисторов.

Библиографический список

1. «Силовая электроника фирмы Harris». Библиотека электронных компонентов. 2009.