

05;06

## Получение высококачественных эпитаксиальных слоев кремния методом газофазной эпитаксии

© Н.А. Самойлов, А.В. Елисеев, С.В. Шутов

Херсонский индустриальный институт,  
325008 Херсон, Украина

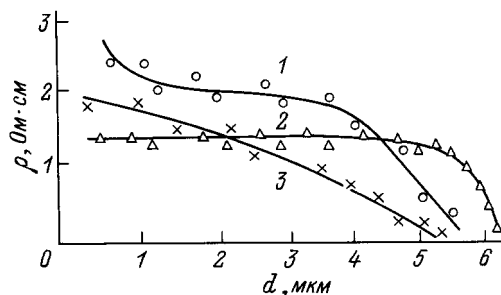
(Поступило в Редакцию 18 декабря 1995 г.)

Неизбежное образование переходной области между эпитаксиальным слоем и сильно легированной подложкой при изготовлении кремниевых структур приводит к ухудшению параметров приборов. Так, при изготовлении структур  $n-n+$  для варикапов увеличение толщины переходной области приводит к уменьшению их добротности, возрастанию обратных токов и т. д.

Основные факторы, существенно влияющие на параметры переходной области сильно легированная подложка-эпитаксиальный слой ("фон" пьедестала и реактора, предэпитаксиальное газовое травление, автолегирование), и методы уменьшения их влияния подробно рассмотрены в работах [1–3]. Следует отметить, что толщина переходной области существенно зависит от температуры эпитаксии и режимов газового травления. При снижении температуры эпитаксии уменьшается и вклад вышеперечисленных факторов в образование переходного слоя, уменьшается его толщина. Практический опыт и теоретические исследования свидетельствуют о том, что при применении в качестве кремнийсодержащего реагента тетрахлорида кремния ( $\text{SiCl}_4$ ) температура эпитаксии не может быть ниже  $1160^\circ\text{C}$  без ухудшения структурного и морфологического совершенства кристаллизующихся слоев [1]. Одним из путей понижения температуры кристаллизации слоев является использование вместо  $\text{SiCl}_4$  других соединений кремния, например трихлорсилана ( $\text{SiHCl}_3$ ) и моносилана ( $\text{SiH}_4$ ). В этой связи нами был проведен ряд экспериментов по получению тонких ( $\sim 6$  мкм) эпитаксиальных слоев на сильнолегированных подложках (КЭМ-0.003) с применением  $\text{SiCl}_4$ ,  $\text{SiHCl}_3$ ,  $\text{SiH}_4$ . Эпитаксиальное наращивание слоев производилось на промышленной установке для газофазной эпитаксии "Слой-202" в атмосфере водорода с точкой росы  $t_p \leq -74^\circ\text{C}$ . В качестве легирующей примеси во всех экспериментах был использован фосфин ( $\text{PCl}_3$ ). Графитовый пьедестал перед проведением эпитаксии последовательно покрывался слоями карбида кремния и высокоомного поликристаллического кремния толщиной до 6 мкм. Предэпитаксиальное газовое травление осуществлялось непосредственно перед началом эпитаксии при расходе хлористого водорода 1.2–1.3 л/мин и расходе основного потока водорода 60 л/мин. Во время процесса газового травления, продолжительность

которого составляла 15 мин, на непланарной стороне подложки формировался сэндвич-слой толщиной 3.7–3.8 мкм, после чего последовательно создавались два блокирующие слоя толщиной 0.2 мкм каждый [2]. Затем производилось наращивание основного слоя. Толщина эпитаксиальных слоев определялась методами сферического шлифа и инфракрасной интерференции на установке "Specord-M82", удельное сопротивление измерялось вольт-фарадным методом с применением ртутного зонда на установке Е7-12, структурные дефекты выявлялись в травителе Сиртла. Толщина переходной области определялась по разности значений толщин, измеренных методами инфракрасной интерференции и сферического шлифа [4].

Эпитаксиальные слои кремния, полученные при использовании описанных технологических приемов, отличались высоким структурным совершенством и однородностью параметров. Минимальный разброс удельного сопротивления и толщины слоев как по структуре, так и между структурами, полученными в одном технологическом процессе ( $< 6\%$ ), был достигнут при эпитаксии с использованием моносилана. Плотность дислокаций  $N_d$  и плотность дефектов упаковки  $N_{д.у}$  не превышала  $1 \cdot 10^2 \text{ см}^{-2}$  при использовании в качестве кремнийсодержащего реагента всех указанных выше соединений. Типичные распределения удельного сопротивления по толщине эпитаксиального слоя при использовании различных кремнийсодержащих реагентов приведены на рисунке. Экспериментальные зависимости показывают, что



Распределение удельного сопротивления по толщине эпитаксиального слоя в зависимости от типа кремнийсодержащего реагента. 1 —  $\text{SiHCl}_3$ , температура эпитаксии  $1100^\circ\text{C}$ ; 2 —  $\text{SiCl}_4$ ,  $1180^\circ\text{C}$ ; 3 —  $\text{SiH}_4$ ,  $1040^\circ\text{C}$ .

температура эпитаксии существенным образом влияет на толщину переходной области слой–подложка. При понижении температуры эпитаксии до 1040°С с применением моносилана в качестве кремнийсодержащего реагента получены эпитаксиальные структуры с минимальной (< 0.3 мкм) толщиной переходной области. Получение минимальной толщины переходного слоя при использовании моносилана также обусловлено отсутствием хлоридов в парогазовой смеси реактора, в присутствии которых одновременно с процессом кристаллизации происходит и процесс травления.

Таким образом, использование моносилана и описанных технологических приемов позволило получить почти идеальный профиль концентрации примеси в эпитаксиальном слое, минимизировать толщину переходной области подложка–эпитаксиальный слой и добиться высокой степени однородности электрофизических параметров эпитаксиальных слоев.

## Список литературы

- [1] Харченко В.В. Получение эпитаксиальных структур кремния с контролируемым примесным профилем. Ташкент: Фан, 1989. 168 с.
- [2] Самойлов Н.А., Пятак И.Л. // Электронная техника. Сер. Материалы. 1992. Вып. 2. С. 63–64.
- [3] Папков Н.С., Суворов В.М., Беляева Е.Н. // Электронная техника. Сер. Материалы. 1985. С. 147–153.
- [4] Бойцов Ю.П., Прохоров В.И. // Процессы роста и синтеза полупроводниковых кристаллов и пленок. Новосибирск: Наука, 1975. Ч. II. С. 143–147.