

К. т. н. С. П. НОВОСЯДЛЫЙ

Украина, г.Ивано-Франковск, СКТБ "Оризон"

Дата поступления в редакцию  
24.10 1997 г.

Оппонент к. т. н. А. А. БОГОМЯНОВ

## ТЕХНОЛОГИЯ ФОРМИРОВАНИЯ ВЫСОКОКАЧЕСТВЕННЫХ КРЕМНИЕВЫХ ЭПИТАКСИАЛЬНЫХ СТРУКТУР

*Разработана технология изготовления КЭС для биполярных интегральных схем без автолегирования и смещения скрытого слоя.*

*The manufacturing technology of silicon epitaxial structure of bipolar integrated circuits without autodoping and bias of buried layer has been developed.*

Кремниевые эпитаксиальные структуры (КЭС) представляют собой сформированные на кремниевых подложках КДБ 10(111)-4° скрытый и эпитаксиальный слои, на которых формируют структуры ВП-интегральных схем. Подложка кремния и эпитаксиальный слой имеют разные типы проводимости для образования активных областей, а сильнолегированный скрытый слой обеспечивает уменьшение сопротивления тела коллектора и коллекторного контакта. Механические и электрические свойства полупроводниковых слоев и электрические характеристики транзисторных структур сильно зависят от наличия в материале эпитаксиального слоя разных дефектов (рис. 1).

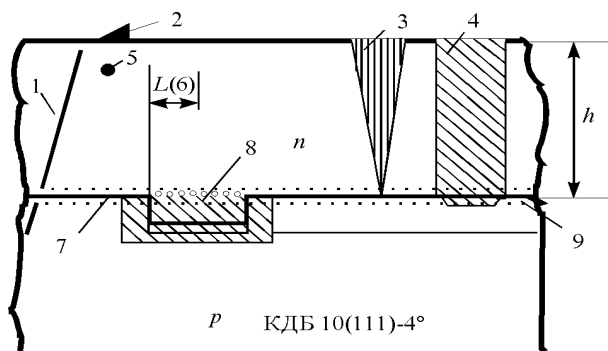


Рис. 1. Дефекты структуры КЭС:

- 1 - дислокация; 2 - бугорок; 3 - дефект упаковки;
- 4 - дефект упаковки эпитаксиала на дефекте в Si-подложке;
- 5 - примесный преципитат; L(6) - смещение скрытого n<sup>+</sup>-слоя;
- 7 - боковое автолегирование; 8 - вертикальное автолегирование;
- 9 - скрытый n<sup>+</sup>-слой; h - эпитаксиальный слой

Разориентация поверхности кремниевой подложки на угол 4° обеспечивает высококачественную упаковку атомных слоев при эпитаксиальном росте пленки. Рост эпитаксиального слоя монокристаллического кремния происходит путем движения микро-

ступенек, поэтому ориентация поверхности подложки влияет на смещение рельефа скрытого слоя в эпитаксиальном за счет анизотропии скоростей роста граней монокристалла кремния [1].

В процессе эпитаксиального роста и легирования n-слоя для получения необходимого удельного сопротивления, кроме диффузии контролируемой примеси, происходит автолегирование за счет диффузии примеси из скрытого слоя в вертикальном и горизонтальном направлениях. В таком случае сильно меняется профиль распределения концентрации (N) легирующей примеси (рис. 2) [1]. Это подтверждается вольтамперными характеристиками переходов, сформированных в таких КЭС при малых толщинах эпитаксиального слоя (4–6 мкм).

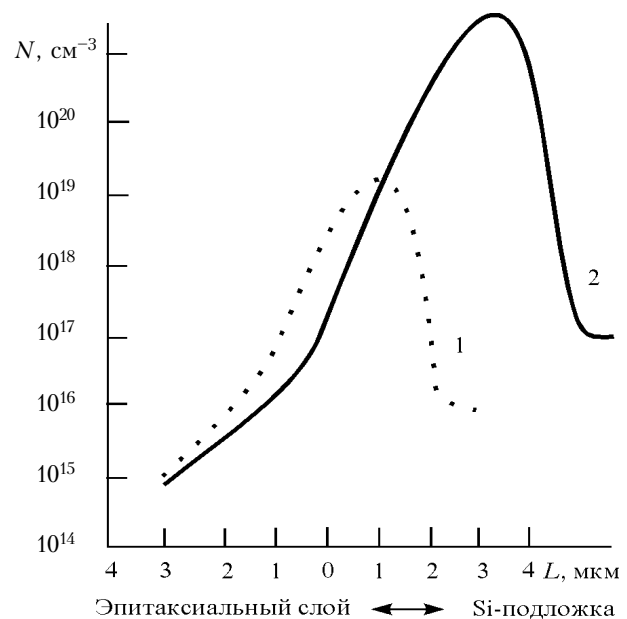


Рис. 2. Профиль распределения концентрации легирующей примеси:

- 1 - под областью без скрытого слоя; 2 - под областью скрытого слоя

Скрытый слой n<sup>+</sup>-типа формируется диффузионным методом или ионной имплантацией сурьмы или мышьяка. После проведения диффузии по периметру области скрытого слоя на поверхности кремниевой подложки образуется ступенька высотой 500–1000 Å.

В процессе эпитаксиального роста  $n$ -слоя она смещается в сторону на толщину эпитаксиального слоя. Поэтому при выполнении фотолитографии необходимо давать допуск на такое смещение, что ведет к увеличению конструкторско-технологических ограничений (КТО). Явление «размытия» скрытого слоя приводит к уменьшению пробивных напряжений активных элементов, и его также необходимо учитывать в нормах КТО.

Для увеличения степени интеграции VIP-интегральных схем необходимо уменьшить КТО за счет исключения автолегирования и смещения скрытого  $n^+$ -слоя и обеспечения бездефектного эпитаксиального роста  $n$ -слоя. Это требует совершенствования технологии формирования КЭС, особенно для сильноточных схем.

Для подавления автолегирования эпитаксиального  $n$ -слоя из скрытых  $n^+$ -областей разработан способ формирования КЭС, сущность которого состоит в следующем [2].

При формировании кремниевых структур наблюдается большой разброс величины поверхностного сопротивления скрытого  $n^+$ -слоя. Это обусловлено автолегированием эпитаксиальной пленки во время ее роста и не позволяет контролировать толщину переходного слоя. Чтобы этого избежать, между процессом формирования скрытого  $n^+$ -слоя и газовым травлением в хлористом водороде перед эпитаксиальным ростом  $n$ -слоя проводят формирование геттерного демпферного слоя поликремния и защитного слоя двуокиси кремния. Осаждение слоя поликремния проводят пиролизом моносилана в реакторе пониженного давления, а образование  $\text{SiO}_2$  происходит при геттерировании примеси  $n^+$ -слоя из скрытого слоя в процессе термообработки структур в сухом кислороде. Толщина слоя поликремния составляет 0,1–0,5 мкм, а толщина  $\text{SiO}_2$  — 100–150 нм. Перед эпитаксиальным ростом  $n$ -слоя проводят удаление геттерной пленки поликремния, пленки двуокиси кремния и частично монокремния путем термообработки в среде хлористого водорода.

Формирование эпитаксиального слоя проводится в два этапа: осаждение слоя нелегированного монокремния толщиной 1–3 мкм и эпитаксиальный рост слоя легированного монокремния толщиной 7–12 мкм с использованием примеси  $n$ -типа (фосфора из газовой смеси 4%  $\text{PH}_3$  с аргоном или водородом).

Формирование геттерной пленки поликремния проводят в реакторе пониженного давления на установке типа «Изотрон» при температуре 620–650°C и давлении 30–60 Па. Процесс окисления поликремния до 100–150 нм проводят при 1050°C в сухом кислороде. При 1200°C и концентрации  $\text{HCl}$  в  $\text{H}_2$  0,15...4% осуществляют травление монокремния со скоростью соответственно 0,17...2 мкм/мин. После удаления с кремниевых пластин слоя поликремния, защитного слоя и монокремния для углубления скрытого слоя на 0,07–0,1 мкм приостанавливают подачу хлористого водорода и продувают реактор установки (УНЭС-2ПКА или «Эпиквар»)

водородом в течение 1 мин для подготовки к процессу эпитаксиального роста.

Зависимость плотности дефектов от температуры газового травления показана на рис. 3.

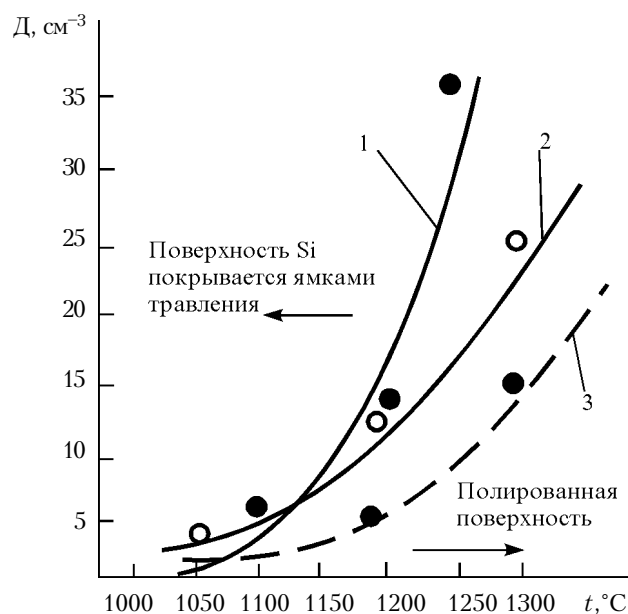


Рис. 3. Зависимость плотности дефектов от температуры газового травления при различной концентрации  $\text{HCl}$  в водороде: 1 — 1,5%; 2 — 1%; 3 — 0,5%

Следует отметить, что газовое травление в  $\text{HCl}$  обеспечивает высокую чистоту поверхности КЭС за счет геттерирования примесей и дефектов до эпитаксиального роста  $n$ -слоя. Кроме того, при диффузии примеси в кремний ( $\text{Sb}$ ,  $\text{As}$ ) с использованием многоэтапного термического окисления или отжига происходит сегрегация примесей, которая сильно зависит от первоначальной толщины стекла. Это отражается в зависимости коэффициента диффузии ( $D$ ) от коэффициента сегрегации ( $m$ ). Поэтому для формирования областей  $n^+$ -скрытого слоя используют примеси донорного типа ( $\text{Sb}$  или  $\text{As}$ ) из-за их малого коэффициента диффузии. Современная технология диффузии сурьмы включает в себя одностадийный процесс загонки примеси с последующей разгонкой ее на глубину 3–5 мкм с поверхностным сопротивлением 12–35 Ом/. На рис. 4 представлены профили диффузии сурьмы для различного времени диффузии. Зависимость коэффициента диффузии  $\text{Sb}$  от ее концентрации для температуры 1200 °C приведена на рис. 5.

Таким образом, автолегирование и смещение скрытого слоя определяется высокой, близкой к пределу растворимости, концентрацией сурьмы или мышьяка. Это приводит к образованию кластеров, и коэффициент диффузии возрастает на два порядка, что в конечном итоге приводит к ускорению диффузионного процесса. Кроме того, такой концентрационный профиль влияет на скорость роста разных кристаллографических плоскостей моно-

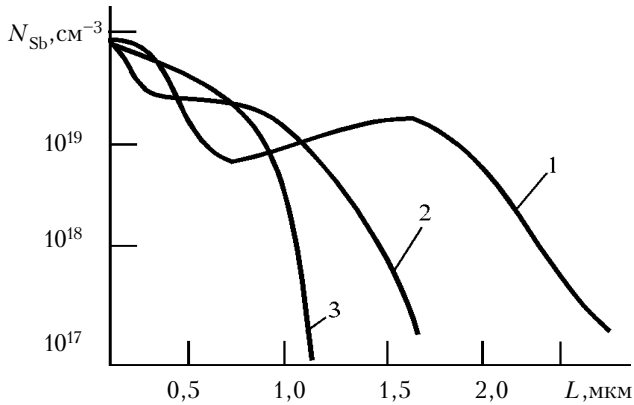


Рис. 4. Профиль диффузии сурьмы для различного времени диффузии:  
1 — 0,75 ч; 2 — 2 ч; 3 — 18 ч

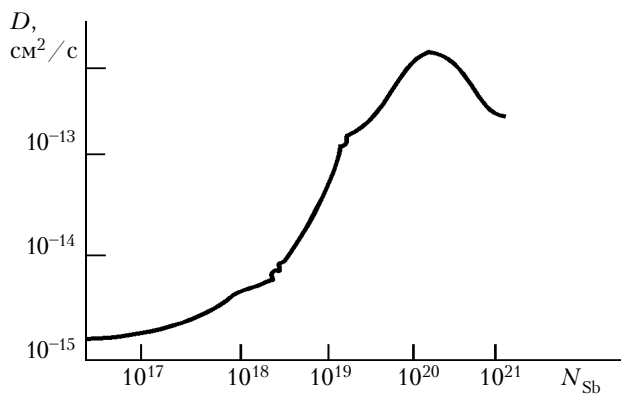


Рис. 5. Зависимость коэффициента диффузии сурьмы от ее концентрации

кристалла кремния по-разному — рост ускоряется или замедляется.

Для подавления таких негативных явлений при формировании КЭС разработан процесс ионного легирования кремниевой подложки в местах скрытого слоя ионами углерода  $C^+$ , которые благодаря своей геттерирующей способности снижают коэффициент диффузии сурьмы и, тем самым, выравнивают скорость роста кристаллографических плоскостей монокристаллического эпитаксиального кремния.

В рамках данной работы изучались физические процессы в кремниевых эпитаксиальных структурах после имплантации ионов углерода, которые являются изовалентной примесью с ковалентным радиусом  $0,77\text{\AA}$  (по сравнению с  $1,17\text{\AA}$  для кремния). В связи с этим в областях имплантации ионов  $C^+$  образуются растягивающие напряжения, которые влияют на процессы формирования КЭС.

Имплантация ионов углерода проводилась на установке «Везувий» с энергией  $50 - 100$  кэВ и дозой  $0,5 - 100$  мкКл/см<sup>2</sup> в области скрытого слоя до диффузии сурьмы. Следует отметить, что имплантация ионов углерода стимулирует образование донорных центров на границе раздела «кремниевая подложка —  $n^+$ -слой». Их концентрация зависит от дозы имплантации  $C^+$ , а профиль определяется ионолегированным профилем. Исследования

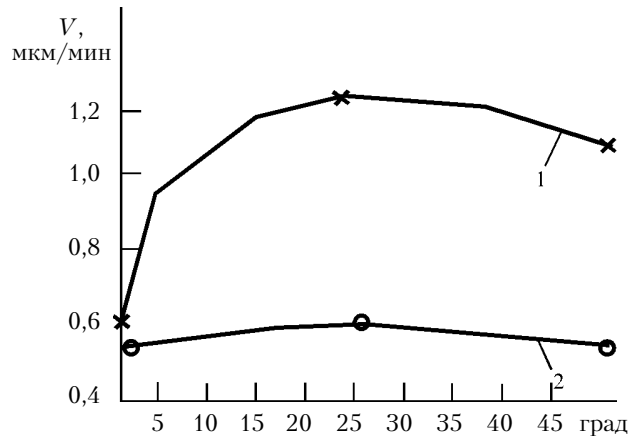


Рис. 6. Зависимость скорости роста монокремния от ориентации подложки ионного углеродного геттера — отклонения от плоскости (111):  
1 — без имплантации слоя  $C^+$ ; 2 — после имплантации слоя  $C^+$

показали, что такой донорный комплекс становится геттером и состоит из атомов кислорода, межузельных атомов кремния и углерода.

Последующие исследования были направлены на выяснение влияния имплантированного слоя углерода на смещение и автолегирование скрытого  $n^+$ -слоя. При этом наблюдалось значительное увеличение времени жизни скрытого слоя на расстоянии до 1 мм от геттерной области. Это указывает на резкое уменьшение дефектов, из-за которых ускоряется диффузия при автолегировании. Кроме того, уменьшается изменение скорости роста кристаллографических плоскостей эпитаксиального монокремния, что показано на рис. 6. Геттерирующая эффективность имеет ярко выраженную дозовую зависимость и достигает своего максимального значения при дозе  $6 \cdot 10^{15}$  см<sup>-2</sup>. Углерод оказывает стимулирующее действие на преципитацию кислорода в области имплантированных ионов углерода, преобразуя их в геттерирующую область примесей, которые замедляют диффузию сурьмы из скрытого слоя.

Таким образом, технология формирования геттерных областей углерода в области скрытых слоев и технология поликремниевых экранов обеспечивают предельно низкую дефектность КЭС за счет значительного уменьшения автолегирования и смещения топологии интегральных схем (ИС) при эпитаксиальном росте. Это позволяет увеличить степень интеграции ИС и уменьшить значения конструкторско-технологических ограничений. Данная технология позволила увеличить процент выхода годных кристаллов для интегральных схем в 1,5—2 раза.

#### ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. С. П. Новосядлый. Технология новых материалов и методов формирования тонкопленочных структур активных RC-фильтров: Дис. ... канд. техн.наук. — Львов, 1991.
2. А. с. 1623494 СССР. Способ изготовления кремниевых эпитаксиальных структур / С. П. Новосядлый. — 22.09 1990 г.