

**УДК 621.382**

**АНАЛИЗ МЕТОДОВ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ПЛАСТИН КНИ ДЛЯ МДП  
МИКРОСХЕМ**

**ANALYSIS OF METHODS OF MANUFACTURE OF PLATES SOI FOR  
MIS CHIPS**

Е.В.ВИНОГРАДОВА – магистрант, Институт информационных технологий и радиоэлектроники, кафедра БЭСТ, группа РЭМ-119, E-mail: [tikhonravova.elizaveta@mail.ru](mailto:tikhonravova.elizaveta@mail.ru)

Т.Н.ФРОЛОВА – научный руководитель, к.ф-м.н., Институт информационных технологий и радиоэлектроники, кафедра БЭСТ, E-mail: [frolova@vlsu.ru](mailto:frolova@vlsu.ru)

E.V.VINOGRADOVA - undergraduate, Institute of information technologies and radioelectronics, department of BEST, group REm-119, E-mail: [tikhonravova.elizaveta@mail.ru](mailto:tikhonravova.elizaveta@mail.ru)

T.N. FROLOVA - scientific adviser, candidate of physical and mathematical sciences, Institute of information technologies and radioelectronics, department of BEST, E-mail: [frolova@vlsu.ru](mailto:frolova@vlsu.ru)

**Аннотация:** Анализ технологических процессов производства пластин КНИ необходим для осуществления возможности создания микросхем с улучшенными характеристиками по помехозащищенности, термической и радиационной стойкости, быстродействию и степени интеграции. В настоящее время актуально развитие технологий производства структур "кремний на изоляторе" (КНИ) для создания новой элементной базы микроэлектроники, предназначенной для производства радиационно-стойких интегральных схем (ИС) с наилучшими эксплуатационными характеристиками.

**Abstracts:** An analysis of technological processes for the production of SOI wafers is necessary to enable the creation of microcircuits with improved characteristics in terms of noise immunity, thermal and radiation resistance, speed and degree of integration. Currently, the development of technologies for the production of silicon-on-insulator (SOI) structures to create a new microelectronic element base for the production of radiation-resistant integrated circuits (ICs) with the best operational characteristics is relevant.

**Ключевые слова:** метод, технология, пластина, кремний на изоляторе, микросхема.

**Keywords:** method, technology, wafer silicon on insulator, microcircuit.

Структура КНИ – кремний на изоляторе (англ. SOI, silicon on insulator) представляет собой технологию изготовления полупроводниковых приборов, основанную на применении в качестве подложки трехслойной структуры кремний-диэлектрик-кремний вместо обычно применяемых монокристаллических кремниевых пластин [1]. Схема структуры МОП–транзисторов, выполненных на объемном кремнии и по технологии КНИ представлена на рисунке 1.

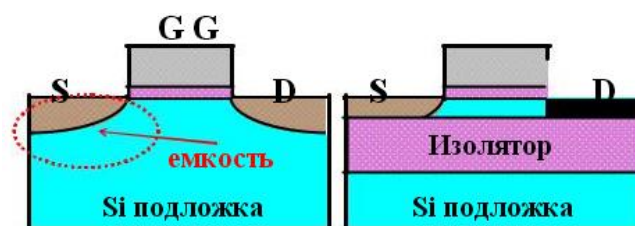


Рисунок 1 – Схема структуры МОП–транзисторов, выполненных на объемном кремнии (а), по технологии КНИ (б)

Главным преимуществом структуры КНИ перед структурой на основе объемного кремния является возможность диэлектрической изоляции существенно снизить паразитные емкости и повысить быстродействие. Транзистор в ИС с изоляцией p-n- переходом содержит

паразитную тиристорную структуру, которая может привести к защелкиванию при воздействии переходных процессов и высоких уровнях напряжения. Полная диэлектрическая изоляция исключает подобные нежелательные эффекты и обеспечивает повышенное пробивное напряжение [2].

В настоящее время наиболее распространены КНИ-подложки, где в качестве изолятора выступает диоксид кремния. Такие подложки могут быть получены с помощью различных технологий, наиболее известные из которых:

#### 1. Технология ионного синтеза (SIMOX)

В процессе SIMOX большая доза ионов кислорода имплантируется в кремниевую пластину, которая во время постимплантационного отжига реагирует с множеством ионов кремния, образуя слой захороненного оксида кремния (BOX) (см. рисунок 2). Имплантация гарантирует хорошую однородность толщины приборного слоя и BOX. Толщина приборного слоя определяется энергией имплантации. Скрытый слой  $\text{SiO}_2$ , образовавшийся в результате ионного синтеза непосредственно в процессе имплантации, окружен кремнием с высокой плотностью радиационных дефектов (в основном, дислокаций и преципитатов окисла). Поэтому необходим высокотемпературный отжиг, позволяющий устранить большую часть дислокаций и растворить преципитаты [5].

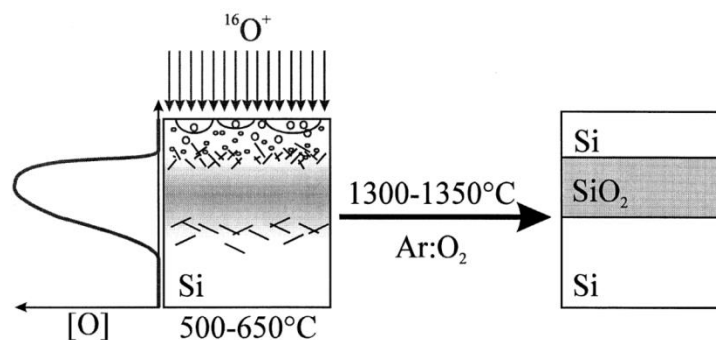


Рисунок 2 – Принцип технологии SIMOX

## 2. Технология с пониженной дозой облучения (ITOX–SIMOX)

Накашима и соавторы предложили увеличить толщину BOX за счет уменьшения толщины приборного слоя посредством сухого термического окисления в смеси аргона и кислорода при температуре 1350°C. Этот процесс они назвали ITOX (внутреннее окисление) (см. рисунок 3) [6].

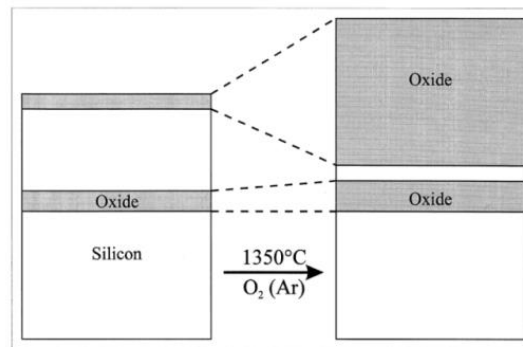
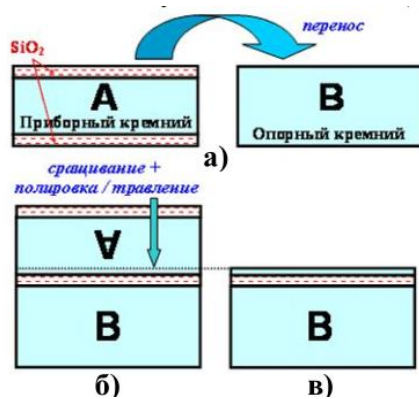


Рисунок 3 – Принцип процесса ITOX

## 3. Твердофазное сращивание пластин (wafer bonding, BESOI)

При использовании технологии сращивания пластин (англ. wafer bonding) образование поверхностного слоя производится путём прямого сращивания второй кремниевой пластины со слоем диоксида на первой (см. рисунок 4 а). Для этого гладкие, очищенные и активированные за счёт химической или плазменной обработки пластины подвергают сжатию и отжигу, в результате чего на границе пластин происходят химические реакции, обеспечивающие их соединение (см. рисунок 4 б). После этого уже не нужная часть второй пластины безвозвратно стравливается каким-либо способом так, что на поверхности подложки с окислом остается только приборный слой кремния требуемой толщины, т. е. КНИ (см. рисунок 4 в) [3].



- а) Исходные пластины;
- б) Сращивание приборной и опорной пластин и удаление излишней части приборной пластины;
- в) Окончательный продукт.

Рисунок 4 – Технологическая схема получения структур КНИ: методом прямого сращивания пластин (wafer bonding, BESOI)

#### 4. Технология сращивания пластин и ионной имплантации (Simbond)

Simbond – технология изготовления структур КНИ, объединяющая операции технологии сращивания пластин и ионной имплантации. Фирма Singui использует эту технологию для изготовления высококачественных пластин КНИ. На рисунке 5 представлена технологическая схема получения структур КНИ методом Simbond.

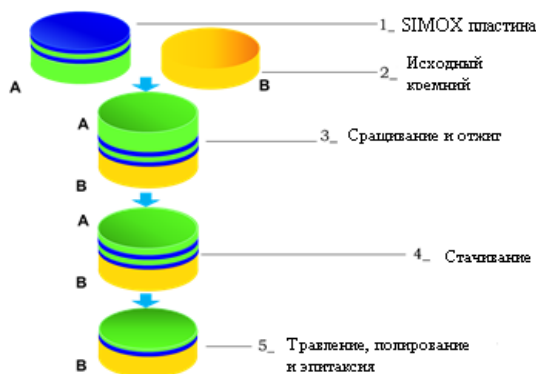


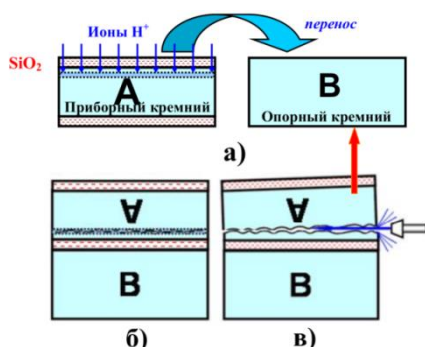
Рисунок 5 – Технологическая схема получения структур КНИ методом Simbond.

Ионная имплантация обеспечивает хорошо распределенный ионно-имплантированный слой. Этот слой используется в качестве слоя, препятствующего химическому травлению, что обеспечивает превосходный контроль однородности толщины приборного слоя перед окончательным процессом полировки. С помощью этой инновационной

технологии возможно производить высококачественные пластины КНИ с превосходной однородностью структуры и толстым захороненным слоем окисла [7].

#### 5. Технология управляемого скола (Smart Cut)

Исходными являются две пластины монокристаллического кремния, одна из которых предварительно окисляется. Затем через слой окисла эта пластина подвергается облучению протонами с энергией 30–100 кэВ. По завершении процедуры ионного внедрения пластина переворачивается и накладывается лицевой стороной на другую пластину, после чего происходит их сращивание. В процессе последующей термообработки в глубинном слое кремния, насыщенном водородом, возникает область скола, по границе которой на завершающей стадии проводится отделение первой пластины, и в результате на поверхности второй остаётся слой КНИ. Отделённая часть первой пластины может использоваться в новом производственном цикле [4]. Схематически технологический маршрут описанного процесса представлен на рисунке 6.



- а) имплантация H + в пластину А, очистка поверхностей пластин и перенос А на В:
- б) сращивание подложек и образование перенасыщенного водородом слоя:
- в) высокотемпературная термическая обработка, расщепление и разделение пластин.

Рисунок 6– Технологическая схема Smart-Cut.

#### 6. Окисление пористого кремния (ELTRAN)

Способ создания скрытого наноразмерного дефектного слоя, по которому можно провести скол приборной пластины, без использования ионной имплантации был запатентован под торговой маркой ELTRAN (Epitaxial layer TRANsfer), рис. Перенос эпитаксиального слоя.

Традиционным способом получения пористого кремния является электрохимическое травление монокристаллических пластин кремния в этаноловом растворе плавиковой кислоты HF. При положительном потенциале на кремниевом электроде (аноде) и надлежащем выборе режима травления у поверхности формируется пленка пористого кремния с размерами пор в несколько нм. После этого при 400 °С проводится сухое окисление внутренних стенок всех пор на глубину 1-3 нм, чтобы исключить их деформацию во время последующего высокотемпературного отжига при 1000-1100 °С в атмосфере водородосодержащего газа, который проводится непосредственно в камере CVD. Затем эпитаксиальный слой кремния, переносится на кремниевую пластину путем прямого сращивания. Расщепление пластин происходит по ослабленному механически пористому слою, с помощью водяных форсунок. На заключительной стадии, оставшийся на пленке кремния пористый слой стравливается в растворе, содержащем HF и H<sub>2</sub>O [3].

Технологический процесс ELTRAN представлен на рисунке 7 [5].

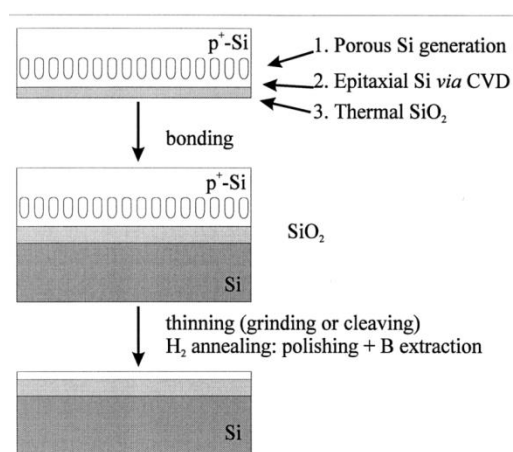


Рисунок 7– ELTRAN: Эпитаксиальный слой Si, перенесенный на Si путем прямого сращивания. Пористый слой Si служит ограничителем травления и может использоваться в качестве плоскости расщепления для сохранения временной пластины.

В ходе работы было выявлено, что ведущим мировым поставщиком заказных пластин на основе структур кремний-на-изоляторе (КНИ)

является фирма: «Simgui» (г.Шанхай), которая в промышленном производстве использует технологии: SIMOX, BESOI, Simbond, Smart-cut™ Technology [7]. Фирмы SOITEC (Франция), Ibis Technology Corporation (США) предлагают пластины КНИ, изготовленные по технологиям: SIMOX, Smart-cut™ Technology.

### **Список используемой литературы:**

1. Кремний на изоляторе [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Кремний\\_на\\_изоляторе](https://ru.wikipedia.org/wiki/Кремний_на_изоляторе), свободный. – (дата обращения: 24.01.2020).
2. Суворов А.Л., Чаплыгин Ю.А., Тимошенко С.П., Прокопьев Е.П. Анализ преимуществ, перспектив применений и технологий производства структур КНИ: Препринт ИТЭФ, 2000.
3. Суворов А.Л., Богданович Б.Ю., Залужный А.Г., Графутин В.И., Калугин В.В., Нестерович А.В., Прокопьев Е.П., Тимошенко С.П., Чаплыгин Ю.А. Технологии структур КНИ: Монография. М.: МИЭТ, 2004. 407 с.
4. Богданович Б.Ю., Технологии производства и методы исследования структур КНИ. М: МИЭТ, 2003.
5. PloÈûl A., KraÈuter G. / Silicon-on-insulator: materials aspects and applications / A. PloÈûl, G. KraÈuter // Solid-State Electronics. 2000. P. 775–782.
6. Nakashima S, Katayama T, Miyamura Y, Matsuzaki A, Imai M, Izumi K, Ohwada N. in 1994 IEEE International SOI Conference Proceedings Nantucket. USA, 1994. P. 71–72.
7. Simgui. SOI APP [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://www.simgui.com.cn/en/pro\\_55\\_249.htm](http://www.simgui.com.cn/en/pro_55_249.htm), свободный. – (дата обращения: 20.03.2020).