

Учреждение образования
“Белорусский государственный университет
информатики и радиоэлектроники”

УДК 537.311.322; 621.396.6.049

ПЛЕБАНОВИЧ
Владимир Иванович

**ФОРМИРОВАНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ СЛОЕВ
ПОШАГОВЫМ И ДВОЙНЫМ ЛЕГИРОВАНИЕМ ДЛЯ
ИНТЕГРАЛЬНЫХ МИКРОСХЕМ С ЭЛЕМЕНТАМИ
СУБМИКРОННЫХ РАЗМЕРОВ**

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

по специальности 05.27.01 – Твердотельная электроника,
радиоэлектронные компоненты, микро- и нанoeлектроника,
приборы на квантовых эффектах

Минск 2009

Работа выполнена в учреждении образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники» и научно-производственном объединении «Интеграл»

Научный руководитель: Емельянов Виктор Андреевич, член-корреспондент НАН Беларуси, д-р техн. наук, пенсионер

Официальные оппоненты: Аваков Сергей Мирзоевич, д-р техн. наук, директор УП «КБТМ-ОМО»

Малышев Сергей Александрович, канд. техн. наук, доцент, зав. лабораторией государственного научного учреждения «Институт физики им. Б.И.Степанова НАН Беларуси»

Оппонирующая организация: Государственное научное учреждение «Физико-технический институт НАН Беларуси»

Защита состоится «24» июня 2010 г. в 14.00 на заседании совета по защите диссертаций Д 02.15.03 при учреждении образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники» по адресу: 220013, г. Минск, ул. П. Бровки, 6, корп. 1, ауд. 232, e-mail: dissovet@bsuir.by, тел. 293-89-89

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники».

КРАТКОЕ ВВЕДЕНИЕ

Развитие технологии изготовления интегральных микросхем (ИМС) открывает большие возможности совершенствования современных радиоэлектронных систем, построенных на базе изделий микроэлектроники. Расширение функциональных возможностей и повышение быстродействия ИМС достигается за счет уменьшения размеров их элементов при увеличении размера кристаллов и степени интеграции.

Ионная имплантация в настоящее время является основным технологическим методом формирования высоколокальных легированных областей в кремнии. Однако, внедрение ионов в кристаллы кремния сопровождается созданием большого количества радиационных дефектов: первичных – точечных дефектов вакансионного и междоузельного типа, а после термообработок – остаточных протяженных нарушений, дефектов упаковки и иных. Эти остаточные нарушения в значительной мере ухудшают характеристики и уменьшают процент выхода годных создаваемых приборов.

Актуальность проведения работ по оптимизации операций ионного легирования определяется, прежде всего, необходимостью формирования активных областей ИМС субмикронных размеров, свободных от остаточной дефектности, что обеспечит повышение выхода годных изделий микроэлектроники и улучшение их функциональных характеристик.

В связи с этим основным направлением работы явилось изучение принципиально новых процессов дефекто-примесной инженерии, таких, как пошаговая ионная имплантация, имплантация ионов углерода совместно с ионами бора или BF_2 , внедрение атомов сурьмы совместно с атомами фосфора с целью компенсации напряжений, обусловленных различием ионных радиусов фосфора и кремния, использования комбинированных термообработок.

Предложенные в диссертации новые технологические процессы прошли апробацию в условиях реального производства ИМС.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Связь работы с крупными научными программами (проектами) и темами

Тема диссертации утверждена Советом учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники» (протокол №7 от 26.02.2004 г.) и соответствует подразделу 7.5 «Материалы с новыми свойствами, обеспечивающие создание опто-, микро- и нанoeлектронных устройств, схемотехнические решения для построения таких устройств» приоритетных направлений фундаментальных и прикладных научных исследований Республики Беларусь

на 2006 – 2010 гг., утвержденных Постановлением Совета Министров Республики Беларусь 17 мая 2005 г. № 512.

Работа выполнялась в учреждении образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники» и научно-производственном объединении «Интеграл» в рамках Государственной комплексной программы научных исследований на 2006-2010 годы «Электроника», задания: 1.01 Разработка физико-технологических методов снижения неравновесной ускоренной диффузии имплантированной примеси при создании p^+ - n переходов в кремнии для элементной базы субмикронной электроники (2006-2010 г., № ГР 20065351); 1.04 «Разработка технологии создания бездефектных ионно-легированных структур кремния с целью улучшения параметров полупроводниковых приборов и интегральных схем на их основе и повышения выхода годных изделий микроэлектроники» (2009-2010 г., № ГР 20062732); 1.09 «Создание перспективных материалов методами стационарного и импульсного отжига для решения задач опто- и микроэлектроники» (2008-2010 г., № ГР 20082745) и Государственной научно-технической программы на 2006-2010 годы «Микроэлектроника», подпрограмма «Микроэлектронные технологии, компоненты, оборудование», задания: 1.1.13 «Разработать промышленные технологические процессы формирования нанометровых высокостабильных туннельных и подзатворных диэлектриков для ИМС различного функционального назначения» (2008-2010 г., № ГР 200883026); 1.1.15 «Разработать промышленный технологический процесс управления дефектообразованием в пластинах монокристаллического кремния диаметром 200 мм» (2008-2010 г., № ГР 20083480).

Цель и задачи исследования

Целью диссертационной работы является разработка методов создания бездислокационных ионно-легированных слоев в кристаллах кремния, подавления неравновесной ускоренной диффузии легирующей примеси в условиях термообработки, адаптированных к условиям серийного производства интегральных микросхем с элементами субмикронных размеров и обеспечивающих увеличение выхода годных изделий, получение требуемых функциональных характеристик.

В этой связи основными задачами исследования определены следующие:

1. Разработка метода пошаговой ионной имплантации, обеспечивающего получение ионно-легированных слоев кремния с низкой плотностью линейных дефектов.
2. Разработка метода двойного легирования основными примесями бора, фосфора и дополнительной примесью углерода для формирования легированных слоев кремния с низкой плотностью точечных дефектов.

3. Разработка метода двойной имплантации легирующих примесей (P+Sb), обеспечивающих компенсацию напряжений несоответствия, обусловленных различием ионных радиусов атомов кремния и примесей.

4. Разработка технологических маршрутов и режимов технологических операций, обеспечивающих высокую локальность процесса ионного легирования и низкий уровень дефектности в легированных областях кремния.

5. Внедрение результатов исследований в серийное производство ИМС.

Объектом исследования являются кремниевые ИМС, их элементы и компоненты, ионнолегированные слои кремния, мелкозалегающие области и p-n-переходы в кремнии. Предмет исследования – физико-химические свойства ионно- легированных и токоведущих слоев ИМС, закономерности изменения этих свойств в зависимости от условий формирования, последующих технологических обработок и эксплуатационные свойства ИМС.

Положения, выносимые на защиту

1. Установленные закономерности дефектообразования в кремнии, имплантированном в стандартном и пошаговом режимах, заключающиеся в том, что формирование протяженных нарушений определяется не только взаимодействием собственных точечных дефектов друг с другом, но и с легирующими примесями замещения, что позволило разработать метод ионной имплантации, обеспечивающий получение бездислокационных ионно-легированных слоев кремния, в основу которого положено совмещение эффекта пороговой дозы образования остаточных нарушений и эффекта аннигиляции при термообработке точечных дефектов на примесных атомах бора в процессе замещения.

2. Экспериментально установленный эффект влияния последовательной имплантации ионов BF_2^+ и ионов углерода на подавление неравновесной ускоренной диффузии атомов бора при термообработках, что позволило формировать мелкие, с резкими границами области и p^+ -n-переходы в кремнии с требуемыми электрическими характеристиками.

3. Результаты создания слоев n^+ -типа проводимости, отличающиеся компенсационной имплантацией ионов сурьмы и фосфора и позволяющие подавить эффект неравновесной ускоренной диффузии фосфора, а также существенно снизить плотность вторичных дефектов структуры, что обеспечило формирование с улучшенными электрическими и структурными характеристиками мелкозалегающих с глубиной 210 нм n^+ областей p-n переходов.

4. Методика оценки выхода годных ИМС при масштабировании, отличающаяся особенностями расчета величины проектной нормы и позволяющая оценить количество годных кристаллов N_{Γ} в зависимости от минимальной проектной нормы L_{\min} при известных коэффициентах плотности упаковки $K_{\text{уп}}$, дефектности $K_{\text{деф}}$, дефектности маршрута изготовления $K_{\text{усп}}$, а также заданной

площади пластины $S_{пл}$ и числе элементов на кристалле $N_{эп}$. Рассчитаны зависимости $N_T(L_{min})$ при различных значениях параметров n , m и K_1 , входящих в эту функцию. Показано, что последняя имеет ярко выраженный максимум при изменении L_{min} в пределах $0 \leq L_{min} \leq 5$ мкм, что дает возможность определить оптимальное значение L_{min} , обеспечивающее увеличение процента выхода годных изделий N_T .

Личный вклад соискателя

Вошедшие в диссертацию основные результаты опубликованных работ, сформулированные в защищаемых положениях и выводах, получены соискателем самостоятельно. Непосредственно автором разработан метод пошаговой ионной имплантации, дающий возможность получения бездислокационных ионно-легированных слоев кремния. Установлен эффект влияния последовательной имплантации ионов BF_2^- и ионов углерода на подавление неравновесной ускоренной диффузии атомов бора при термообработках. Разработана методика расчета процента выхода годных ИМС при масштабировании. Научный руководитель доктор технических наук профессор В.А. Емельянов принимал участие в постановке целей и задач исследований и в обсуждении результатов.

Тема потребовала различных междисциплинарных знаний и участия специалистов из различных областей. Основными соавторами опубликованных работ являются: доктор технических наук М. И. Горлов, доктор физико-математических наук Ф. Ф. Комаров, доктор физико-математических наук А. Р. Челябинский, которые участвовали в планировании работ, обсуждении результатов исследований и результатов промышленных испытаний, и научный сотрудник О. В. Мильчанин, который принимал участие в выполнении части исследований структур методами просвечивающей электронной микроскопии (ПЭМ) и резерфордского обратного рассеяния ионов (РОР). В других совместно опубликованных работах автору принадлежат: определение целей и постановка задач исследований, выбор методов исследований, непосредственное участие в проведении экспериментов, обработка экспериментальных данных, анализ и интерпретация полученных результатов, формулировка выводов, определение перспектив и планирование использования результатов проведенных в диссертации исследований, разработка технологических маршрутов и режимов при испытаниях разработанных процессов в условиях серийного производства ИМС.

Апробация результатов диссертации

Результаты работы докладывались и обсуждались на ряде международных и республиканских конференций, симпозиумов, школ, в том числе: Third International Symposium «New Electrical and Electronic Technologies and Their Indus-

trial Implementation» (Закопане, Польша, 2003 г.); 5-й Международной конференции «Взаимодействие излучений с твердым телом» (Минск, Беларусь, 2003 г.); 3-й Международной научно-технической конференции «Проблемы проектирования и производства радиоэлектронных средств» (Новополоцк, Беларусь, 2004 г.); 5-й Международной научно-технической конференции «Электроника и информатика» (Москва, Россия, 2005 г.); 3-й Российской школе «Кремний. Школа – 2005» (Красноярск, Россия, 2005 г.); 2-й Международной научной конференции «Материалы и структуры современной электроники» (Минск, Беларусь, 2006 г.); Fifth International Conference «New Electrical and Electronic Technologies and Their Industrial Implementation» (Закопане, Польша, 2007 г.); 7-й Международной конференции «Взаимодействие излучений с твердым телом» (Минск, Беларусь, 2007 г.).

Опубликованность результатов диссертации

По материалам диссертации опубликовано 26 печатных работ, в том числе 1 коллективная монография, 15 статей в рецензируемых научных журналах, 6 статей в сборниках материалов научных конференций, 1 тезисы доклада на научной конференции, 1 статья в сборнике научных трудов, 2 патента на изобретения.

Общий объем публикаций по теме диссертации, соответствующих пункту 18 Положения о присуждении ученых степеней и присвоении ученых званий в Республике Беларусь, составляет 5,3 авторских листа.

Структура и объем диссертации

Диссертация состоит из введения, общей характеристики работы, пяти глав с выводами по каждой главе, заключения, библиографического списка и приложения. В первой главе проведен анализ имеющихся в литературе данных по дефектообразованию в имплантированном кремнии. Во второй главе описаны использованные методы исследований, обеспечивающие решение поставленных задач. В третьей главе описаны результаты исследований закономерностей образования протяженных нарушений в кремнии, легированном ионами В⁺ в стандартном и пошаговом режимах. Четвертая глава посвящена разработке методов улучшения характеристик и качества легированных слоев при создании мелкозалегающих *p-n*-переходов в кремнии. В пятой главе рассмотрены методы оценки качества ИМС и их элементов, приводятся результаты исследований. В приложении приведен акт о практическом использовании результатов диссертации в серийном производстве ИМС с элементами субмикронных размеров.

Общий объем диссертации – 148 страниц, из которых 76 страниц текста, 64 иллюстрации на 55 страницах, 16 таблиц на 16 страницах, библиографический список использованных источников из 124 наименований на 9 страницах, спи-

сок собственных публикаций автора из 26 наименований на 3 страницах и приложение на 3 страницах.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении и в общей характеристике работы обоснована актуальность темы диссертации, показана связь работы с научными программами и темами, сформулированы цели и задачи исследований, даны сведения об объекте исследования и обоснован его выбор, сформулированы положения диссертации, выносимые на защиту. Приведены сведения о личном вкладе соискателя, апробации результатов диссертации, их опубликованности, а также о структуре и объеме диссертации.

В первой главе проанализированы имеющиеся в литературе данные по дефектообразованию в имплантированном кремнии, влиянию дефектов на электрическую активацию и диффузию примесей, на электрофизические параметры полупроводниковых приборов. Проанализировано также состояние проблемы обеспечения качества и надежности полупроводниковых изделий, прежде всего ИМС, в условиях современного производства.

Основными дефектами, возникающими непосредственно при внедрении ионов, являются дивакансии и два типа междоузельных комплексов: Si-P6 и Si-B3. При последующей термообработке, необходимой для отжига радиационных дефектов и электрической активации внедренной примеси, часть точечных дефектов междоузельного типа перестраивается в протяженные нарушения: стержнеобразные дефекты, дефекты упаковки, дислокационные петли. Протяженные нарушения имеют глубокие уровни энергии в запрещенной зоне и являются генерационно-рекомбинационными центрами. Тем самым эти дефекты ухудшают параметры полупроводниковых приборов: увеличивают обратные токи *p-n*-переходов, снижают коэффициенты усиления транзисторов, снижают процент выхода годных изделий.

Образование остаточных нарушений в кремнии носит пороговый характер. Для образования при термообработке остаточных нарушений необходимо накопление в процессе имплантации критической концентрации точечных дефектов. В случае ионов В⁺ пороговая доза ионов составляет $1 \cdot 10^{14} \text{ см}^{-2}$ и, например, для дозы ионов $1 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-2}$ необходимо 10 шагов имплантации и промежуточных отжигов. Это не приемлемо для практического использования. Существует и другая принципиальная возможность подавления образования остаточных нарушений в имплантированных слоях кремния, заключающаяся в дополнительной имплантации в слой углерода. Однако установлено, что атомы С являются ловушками для избыточных междоузельных атомов Si лишь при локализации их в узлах решетки кремния. Для этого предлагается слой с внедренным угле-

родом дополнительно имплантировать более тяжелыми ионами (например, Si, Ag) для их аморфизации и провести быструю рекристаллизацию слоя. После этого в слой кремния имплантируется электрически активная примесь (В или Р). Такое количество дополнительных операций делает и этот метод затруднительным для практического использования и требует дальнейших исследований в этом направлении.

Важнейшей задачей, стоящей перед производителями современных ИМС, является количественная оценка показателей качества изделий. Для успешного решения данной проблемы требуется использование методов длительных и ускоренных испытаний, а также всестороннего исследования физической природы механизмов отказов. В этой связи актуальной задачей является разработка методик расчета процента выхода годных ИМС.

Возрастание сложности конструкций ИМС и использование групповых методов обработки определяют необходимость особого подхода к организации процессов их изготовления. Основные особенности такого подхода следующие: а) неразрывность конструкции ИМС и технологического процесса ее изготовления, т. е. необходимость учета конструктивно-технологических особенностей при изготовлении изделия; б) максимальное использование взаимной корреляции параметров элементов ИМС (на пластине, в партии пластин, в группе партий); в) учет взаимосвязи между производственным браком (технологические потери) и отказами при эксплуатации, обусловленной единой природой дефектов, определяющих качество ИМС.

Таким образом, проведенный анализ современного состояния результатов исследований по дефектообразованию в ионно-легированном кремнии, по методам подавления образования остаточных нарушений, влиянию структурных дефектов на диффузию внедренных примесей и формирование *p-n*-перехода, на качество изделий микроэлектроники позволил сформулировать цели и задачи диссертационной работы.

Во второй главе представлены основные экспериментальные методы исследований, обеспечившие решение поставленных целей и задач.

Степень нарушенности имплантированных слоев кремния и локализация внедренных примесей по узлам и междоузлиям исследовались рентгенодифракционным методом в режиме двухкристального спектрометра.

Остаточные протяженные нарушения исследовались методом просвечивающей электронной микроскопии (ПЭМ) на электронном микроскопе ЭМ-125 и Hitachi H-800 (ускоряющее напряжение 200 кэВ).

Электрофизические параметры ионно-легированных слоев изучались методом измерения эффекта Холла и проводимости по методике Ван-дер-Пау.

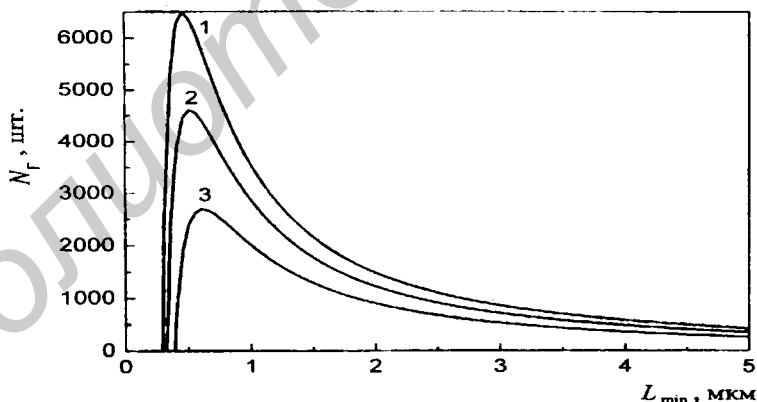
Электрические параметры приборных структур измерялись на автоматизированной измерительной системе НР4061А.

Разработана обобщенная методика расчета процента выхода годных микросхем при масштабировании, дающая возможность оценить количество годных кристаллов N_{Γ} в зависимости от минимальной проектной нормы L_{\min} при известных коэффициентах плотности упаковки $K_{уп}$, дефектности $K_{деф}$ и удельной дефектности для данного маршрута изготовления $K_{у\sum_{пл}}$, а также заданных площади пластины $S_{пл}$ и числе элементов на кристалле $N_{эл}$. Получена обобщенная аналитическая зависимость, связывающая значение N_{Γ} с величиной L_{\min} , имеющая вид

$$N_{\Gamma} = S_{пл} \left(\frac{1}{K_1 L_{\min}^m N_{эл} K_{уп}} - \frac{K_{у\sum_{пл}}}{K_{деф}^{2(n-1)} L_{\min}^{2(n-1)}} \right), \quad (1)$$

где K_1 , m и n – коэффициент и показатели степени, определяемые по результатам эксперимента, проводимого для данной технологии на конкретном технологическом оборудовании.

На рисунке 1 приведены результаты расчета зависимости $N_{\Gamma} = f(L_{\min})$ при различных значениях параметра K_1 . Установлено, что функция $N_{\Gamma} = f(L_{\min})$ имеет ярко выраженный максимум при изменении L_{\min} в пределах $0 \leq L_{\min} \leq 5$ мкм, а ее значение заметным образом зависит от параметров n , m и K_1 , что указывает на возможность использования предложенной методики для оценки результатов масштабирования широкого класса ИМС.



$$1 - K_1 = 2,5 \cdot 10^{-7}; \quad 2 - K_1 = 3 \cdot 10^{-7}; \quad 3 - K_1 = 4 \cdot 10^{-7}$$

Рисунок 1 – Зависимость количества годных ИМС N_{Γ} на пластине от проектной нормы L_{\min} при различных значениях коэффициента K_1 для $N_{эл} = 10^6$, $K_{у\sum_{пл}} = 0,025$, $K_{деф} = 0,2$, $S_{пл} = 176,7$, $K_{уп} = 0,17$, $n = 2,5$, $m = 1,4$

В третьей главе представлены результаты исследований закономерностей образования при термообработке из точечных радиационных дефектов остаточных протяженных нарушений (дефекты упаковки, дислокационные петли) в кремнии, имплантированном ионами В⁺ в стандартном и пошаговом режимах. Установлено, что формирование протяженных нарушений определяется не только взаимодействием собственных точечных дефектов междоузельного типа друг с другом, но с атомами легирующих примесей замещения (бор). Атомы бора, расположенные в узлах решетки кремния, являются ловушками для междоузельных атомов Si в результате процесса вытеснения ими атомов примеси из узлов в междоузлия (эффект Воткинса).

Локализация бора и углерода в решетке кремния была исследована в зависимости от условий имплантации. Исследования проводили рентгенодифракционным методом. Установлено, что в зависимости от плотности тока пучка ионов $J_{эф}$ расположение внедряемых примесей В и С в узлах решетки может изменяться от практически 0 до 100 %. Повышение доли примеси в узлах обусловлено тем, что, во-первых, с ростом плотности тока ионов растет мгновенная концентрация вакансий, и это способствует переходу примеси в узлы решетки. Во-вторых, с ростом плотности тока ионов и соответствующим повышением концентрации неравновесных носителей заряда подавляется процесс вытеснения примесей замещения из узлов решетки междоузельными атомами кремния.

Выполненные методом просвечивающей электронной микроскопии исследования, представленные на рисунке 2,а, показали, что в стандартном режиме имплантации ионов бора с ростом дозы до $2 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-2}$ плотности дислокационных петель растут до 10^{11} см^{-2} . Разработанный пошаговый метод ионного легирования позволяет получать бездислокационные ионно-легируемые слои кремния (рисунок 2,б).

В основе разработанного метода пошагового ионного легирования, обеспечивающего получение бездислокационных слоев кремния, лежит совмещение эффекта пороговой дозы образования остаточных нарушений и эффекта аннигиляции при термообработке точечных дефектов на примесных атомах бора через процесс замещения по Воткинсу. Необходимым условием положительного эффекта является сохранение атомов бора в узлах решетки во время очередного шага имплантации. Это реализуется при плотностях тока ионного пучка не ниже $1 \text{ мкА} \cdot \text{см}^{-2}$, обеспечивающих уровень ионизации в слое внедрения, блокирующий процесс замещения. В разработанном методе существенно сокращено число шагов имплантации и отжига по сравнению с классическим пошаговым методом, например, при дозе ионов бора $1,5 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-2}$ – с 15 до 4 шагов.

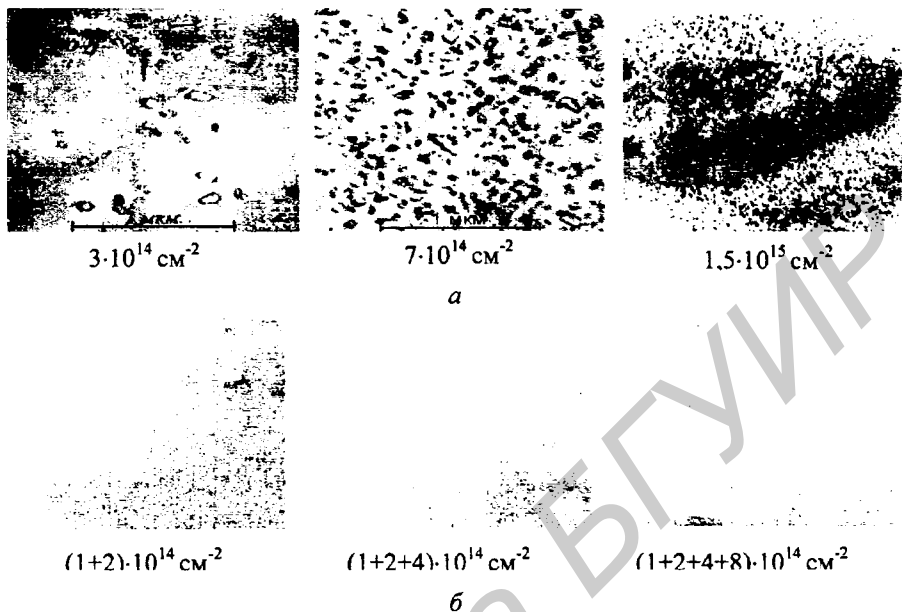


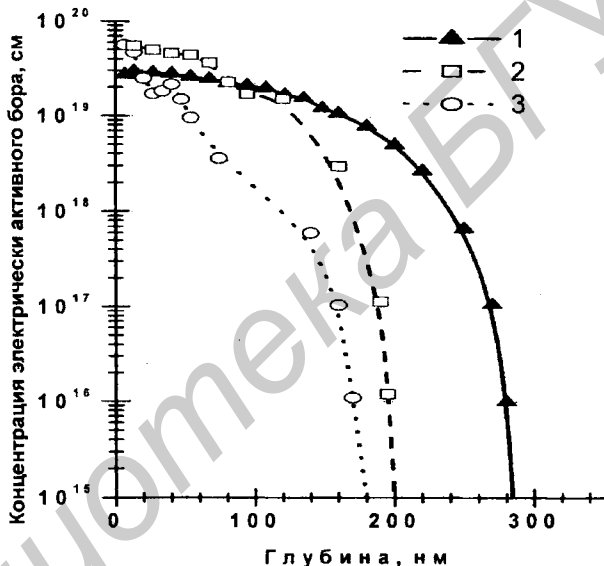
Рисунок 2 – Электронные микрофотографии кремния при разных дозах имплантации ионами В⁺: а - стандартный метод; б - пошаговый метод

Разработанный метод пошагового ионного легирования апробирован при изготовлении диодных и транзисторных структур. По сравнению с базовой технологией применение разработанного пошагового метода приводит к улучшению параметров активных структур кремния – снижению токов утечки диодов, повышению напряжений пробоя, повышению коэффициента усиления транзисторов и повышению выхода годных изделий.

В четвертой главе представлены результаты работ по разработке методов улучшения характеристик и качества легированных слоев при создании мелкозалегающих *p-n*-переходов в кремнии.

Для создания мелкозалегающих *p*⁺-областей в кремниевых пластинах использовались подходы, позволяющие минимизировать эффект неравновесной ускоренной диффузии атомов бора в кремнии. В дополнение к стандартным режимам легирования (имплантация ионов ВF₂⁺ и высокотемпературный отжиг) использовались: имплантация ионов углерода (примеси, замедляющей диффузию бора в кремнии); ступенчатая термообработка в сочетании с режимом быстрого термического отжига (БТО). Энергия имплантации ионов углерода выбиралась таким образом, чтобы максимум профиля углерода залегал в области «хвоста» профиля легирующей примеси, в которой наблюдается эф-

фekt неравновесной ускоренной диффузии атомов бора. Установлено, что использование режима быстрого термического отжига приводит к улучшению параметров формируемых мелких p^+ -переходов в кремнии: увеличению поверхностной концентрации электрически активной примеси; увеличению степени активации легирующей примеси; снижению слоевого сопротивления. Использование совместной с ионами BF_2^+ имплантации ионов C^+ и стандартной одностадийной термообработки позволяет получать более мелкие p^+ -переходы с лучшими электрическими параметрами. Глубина залегания металлургической границы p^+ -переходов уменьшается более чем на 70 нм, что представлено на рисунке 3.



режимы термообработок: зависимости 1, 2 – 850 °С, 60 минут;
зависимость 3 – 600 °С, 60 минут; 1000 °С, 2 минуты; 850 °С, 60 минут

Рисунок 3 – Профили электрически активного бора в образцах кремния после имплантации ионов BF_2^+ (20 кэВ, $5 \cdot 10^{14} \text{ см}^{-2}$) (1), совместно ионов BF_2^+ (20 кэВ, $5 \cdot 10^{14} \text{ см}^{-2}$) и ионов углерода (30 кэВ, $1,8 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-2}$) (2, 3)

По данным ПЭМ исследований установлено, что в случае имплантации только ионов BF_2^+ в поверхностном слое кремниевой пластины регистрируются дислокационные петли с размерами 20-60 нм. Совместная имплантация легирующей примеси с углеродом приводит к заметному уменьшению размеров петель до 15-20 нм и снижению слоевой плотности дислокационных петель. Из измерений обратных ветвей ВАХ диодов тестовых структур следует, что ис-

пользование совместной с ионами BF_2^+ имплантации ионов углерода, при формировании мелких p^+-n -переходов в кремнии, не приводит к ухудшению электрических свойств диодов. Плотности обратных токов утечки диодов при смещении в 5 В не превышают значения 10^{-15} А/мкм².

Для создания тонких n^+ -слоев в кремнии был использован режим двойной имплантации ионов фосфора и сурьмы. В случае имплантации ионов фосфора для уменьшения диффузионной разгонки примеси необходимо исключить эффект каналирования, для чего чаще всего используется предварительная аморфизация Si имплантацией неактивных ионов. В настоящих исследованиях для предварительной аморфизации использовалась имплантация ионов Sb^+ , исходя из следующих соображений:

- ионы Sb^+ имеют большую массу, благодаря чему облегчается аморфизация слоя (уменьшается флюенс ионов);
- имплантация ионов Sb^+ технологически хорошо отработана;

Легирование одной примесью до больших ($>10^{19}$ см⁻³) концентраций вызывает значительные напряжения несоответствия вследствие различия в ковалентных радиусах атомов матрицы и примеси. Напряжения приводят к ряду нежелательных последствий, прежде всего, к генерации дефектов. Совместная (последовательная) имплантация сурьмы и фосфора в определенной концентрации должна приводить, при условии полной растворимости, к компенсации напряжений. Для формирования исток-стоковых областей n -канальных МОП-транзисторов, были выбраны следующие условия имплантации:

- ионы Sb^+ : энергия – 60 кэВ, доза – $1,25 \cdot 10^{14}$ см⁻²;
- ионы P^+ : энергия – 20 кэВ, доза – $8,13 \cdot 10^{14}$ см⁻².

Термообработка в среде N_2 осуществлялась при температуре 850 °С в течение 30 минут, а также в варианте с предварительным отжигом при 550 °С, 30 минут. Экспериментальные профили распределения электрически активной примеси после двойной имплантации (P^+ и Sb^+) и отжига свидетельствуют о значительно меньшем перераспределении примеси на «хвостовых» участках по сравнению с тем, которое наблюдалось в случае имплантации только фосфора. Измерения глубины залегания n^+-p -перехода (при совместной имплантации ионов фосфора и сурьмы) показали, что она составляет около 210 нм, что на 130 нм меньше, чем в случае имплантации только фосфора. Отмечается также достаточно высокий коэффициент использования примеси: 0,89 и 0,95 в случае одно- и двухступенчатого отжига. ПЭМ исследования (в том числе в сочетании с послойным травлением) показали практически полное отсутствие протяженных дефектов структуры типа дислокационных петель (ДП) междоузельной природы. Во всяком случае, можно утверждать, что их

слоевая концентрация меньше 10^6 см^{-2} (предел обнаружения с помощью ПЭМ), в то время как в случае имплантации только фосфора она превышает 10^{10} см^{-2} .

Разработаны режимы создания менее дефектных n^+ -слоев в кремнии. Предложена модификация режимов ионного легирования n^+ -слоев (изделие ПЗ1236MR – ИМС стандартного 8-разрядного микрокалькулятора) путем двойной имплантации ионов фосфора и сурьмы. Использование дополнительного легирования сурьмы в n^+ -стоки привело к увеличению съема годных кристаллов с пластины на 11,8 % по сравнению со стандартной технологией изготовления областей n^- -слоев.

В пятой главе рассмотрены методы оценки качества и надежности ИС и их элементов, а также представлены результаты практического использования экспериментальных исследований.

Проведен сравнительный анализ влияния поверхностной и объемной дефектности кремниевых пластин на процент выхода годных кристаллов ИС, изготовленных на НПО «Интеграл» по стандартным БикМОП и КМОП технологиям. Показано, что зависимость выхода годных кристаллов Y от плотности поверхностных дефектов N_0 [см^{-2}] представлена в виде эмпирического выражения

$$Y = \frac{1}{1 + \gamma A N_0}, \quad (2)$$

где γ – доля площади кристалла, чувствительная к дефектам,

A – площадь кристалла [см^2].

При этом определено, что для КМОП и БикМОП изделий коэффициент γ имеет значение, равное 0,0092 и 0,032 соответственно. Установлено также, что более слабая зависимость выхода годных приборов от плотности поверхностных дефектов наблюдается для изделий, изготовленных по КМОП технологии.

Для сравнительной оценки надежности сложных полупроводниковых изделий, изготовленных по интегральной технологии, предложен способ отбора ИМС повышенной надежности с использованием m -характеристик. С этой целью проводят последовательное испытание ИМС по режимам, не выходящим за рамки ТУ с определением m -характеристик в трех состояниях: в начальном состоянии m_n ; после проведения испытаний на статэлектричество $m_{\text{ЭСР}}$ и отжига в течении 4-8 часов $m_{\text{отж}}$. Исходя из полученных данных определяется коэффициент K по формуле:

$$K = \frac{m_{\text{отж}} - m_n}{m_{\text{ЭСР}} - m_{\text{отж}}}. \quad (3)$$

На основании статистики можно установить такие критерии для m -характеристик и коэффициента K , при которых вся выборка приборов будет разделена на три группы по надежности: ИМС не соответствуют техническим

условиям (ТУ); ИМС соответствуют ТУ; ИМС превосходят ТУ. Предложенная методика была апробирована на ИМС типа К1КТ491Б и показала совпадение расчетных и практических результатов.

Исследовано изменение контактного сопротивления алюминиевой металлизации к ионнолегированным слоям кремния. Представлены результаты исследования влияния режимов термической обработки на электрические характеристики контактов $Al-p^+Si$, $Al-n^+Si$ и $Al-ПКК$. В частности, установлено, что оптимальная длительность термообработки контактов $Al-n^+Si$ и $Al-ПКК$ при 450 °С составляет 15–30 мин. Кроме того, показано, что после термообработки этих контактов при 200 °С в течение 2000 ч наблюдается существенное уменьшение неоднородности величины сопротивления контактных цепочек по пластине.

Проведено исследование тонких окислов кремния, выращенных на областях кремния, подвергнутых ионному легированию. Описана методика контроля качества тонкого подзатворного диэлектрика КМОП и БикМОП приборов методом времязависимого пробоя на основе стандарта JEDEC35a. Метод заключается в выдержке тестовой МОП-структуры под постоянным или нарастающим напряжением или током и определении времени, в течение которого происходит необратимый пробой подзатворного диэлектрика. Методика была апробирована в НПО «Интеграл» и позволила повысить процент выхода годных за счет выбора оптимальных режимов процесса формирования подзатворного диэлектрика.

Представлены результаты исследования по оценке долговременной стабильности алюминиевой металлизации ИМС относительно явления электромиграции. В частности, установлено, что для первого и второго уровня металлизации, реализуемых в ИМС, величина γ -процентного ресурса составляет $5,5 \cdot 10^5$ ч и $2,7 \cdot 10^6$ ч соответственно, что превосходит требования ТУ.

В приложении представлен акт о практическом использовании результатов диссертационной работы в серийном производстве интегральных микросхем с элементами субмикронных размеров.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные научные результаты диссертации

1. Установлено, что при формировании функциональных слоев интегральных микросхем с использованием пошагового и двойного легирования возможно получить активные и пассивные элементы с пониженным уровнем дефектности, удовлетворяющие требования субмикронной технологии [1-А, 6-А - 8-А].

2. Установлено, что доля внедренного углерода, локализованного в узлах решетки непосредственно в процессе имплантации, повышается с ростом плотности тока ионов $J_{эф}$ и при $J_{эф} > 1 \text{ мкА} \cdot \text{см}^{-2}$ достигает 100 %, что обеспечивается повышением мгновенной концентрации вакансий и подавлением эффекта Воткинса [1-А, 6-А, 12-А, 13-А, 19-А, 21-А, 22-А].

3. Установлены закономерности дефектообразования в кремнии, имплантированном в стандартном и пошаговом режимах, заключающиеся в том, что формирование протяженных нарушений определяется не только взаимодействием собственных точечных дефектов друг с другом, но и с примесями замещения [1-А, 8-А, 14-А, 20-А, 21-А].

4. Разработан метод ионного легирования, совмещающий эффект пороговой дозы образования остаточных нарушений и эффект аннигиляции точечных дефектов на примесях бора, обеспечивающий получение слоев кремния с пониженной плотностью линейных дефектов при существенном снижении числа операций легирования по сравнению с известными методами [1-А, 8-А, 20-А]. Использование данного метода позволило повысить выход годных изделий (IL2418S) и улучшить параметры элементов микросхем (повысить коэффициент усиления транзисторов, снизить токи утечки диодов) [14-А, 21-А].

5. Установлено, что совместная имплантация ионов BF_2^- и C^- позволяет уменьшить глубину залегания формируемого при последующей термообработке p^+ - n перехода на ~ 70 нм. Использование режима быстрого термического отжига приводит к улучшению параметров формируемых мелких p^+ - n переходов в кремнии: увеличению поверхностной концентрации электрически активной примеси, увеличению степени активации легирующей примеси, снижению слоевого сопротивления [12-А, 13-А, 16-А, 22-А].

6. Предложен новый подход к созданию слоев n -типа, основанный на компенсационной имплантации ионов сурьмы и фосфора, позволяющий подавить эффект неравновесной ускоренной диффузии фосфора, а также существенно снизить плотность вторичных дефектов структуры. С использованием режима компенсационной имплантации ионов сурьмы и фосфора сформирован мелкозалегаящий p - n переход с глубиной залегания 210 нм и улучшенными электрическими и структурными характеристиками. Разработаны режимы ионного легирования эмиттеров и n^+ -стоков (совместная имплантация сурьмы и фосфора) рабочих пластин ИМС, позволяющие увеличить средний съем годных кристаллов с пластин более чем на десять процентов [1-А, 14-А, 16-А, 19-А].

7. Разработана методика расчета процента выхода годных интегральных микросхем при масштабировании, позволяющая оценить количество годных кристаллов $N_{г}$ в зависимости от минимальной проектной нормы L_{\min} при известных коэффициентах плотности упаковки ИМС $K_{уп}$, дефектности $K_{\text{деф}}$, де-

фектности маршрута изготовления $K_{y\Sigma_{пл}}$, а также заданной площади пластины $S_{пл}$ и числе элементов на кристалле $N_{ал}$. Показано, что выведенная функция имеет ярко выраженный максимум при изменении L_{min} в пределах $0 \leq L_{min} \leq 5$ мкм, что дает возможность определить оптимальное значение L_{min} , соответствующее максимальному значению N_T [10-А, 11-А, 15-А, 17-А, 18-А]. Предложен способ отбора интегральных микросхем повышенной надежности по m -характеристикам и проведена оценка надежности и стабильности элементов ИМС [2-А - 5-А, 9-А, 23-А - 26-А].

Рекомендации по практическому использованию результатов

Разработанный метод пошаговой ионной имплантации, обеспечивающий получение бездислокационных ионно-легированных слоев кремния [1-А, 8-А, 14-А, 20-А, 21-А], внедрен на заводе №20 УП «Завод полупроводниковых приборов» (изделие ИЛ2418), что позволило увеличить процент выхода годных на 10%.

Предложена модификация режимов ионного легирования n^+ -стоков (изделие ПЗ1236MR) путем двойной имплантации ионов фосфора и сурьмы [1-А, 14-А, 16-А, 19-А]. Использование дополнительного легирования сурьмы в n^- -стоки привело к увеличению съема годных кристаллов с пластины на 11,8 %

Разработанный метод создания мелкозалегающих легированных слоев путем совместной имплантации BF_2 и С [12-А, 13-А, 16-А, 22-А] осваивается в производстве субмикронных изделий на производственной линии УП «Завод полупроводниковых приборов».

Разработанная методика расчета процента выхода годных микросхем при масштабировании позволяет оценивать количество годных кристаллов в зависимости от проектной нормы и дефектности маршрута изготовления [10-А, 11-А, 15-А, 17-А, 18-А]. Используется специальным технологическим управлением НПО «Интеграл» для выбора оптимальной проектной нормы проектирования ИМС на стадии бизнес - проекта.

Результаты диссертационной работы могут найти применение в организациях, занимающихся вопросами физики и технологии полупроводниковых материалов и приборов электронной техники: на предприятиях электронной промышленности Беларуси - УП «Завод полупроводниковых приборов», УП «Завод Транзистор»; России - ОАО «Ангстрем», ОАО «Микроя», ОАО «Орион», НИИСИ РАН; МНИИРМ, БГУИР, БГУ, БНТУ и др.

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ СОИСКАТЕЛЯ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Монографии

1-А. Химическая обработка в технологии ИМС / В.П. Василевич, А.М. Кисель, А.Б. Медведева, В.И. Плебанович, Ю.А. Родионов. – Полоцк : ПГУ, 2001. – 260 с.

Статьи в рецензируемых научных журналах

2-А. Качество полупроводниковых изделий / М.И. Горлов, А.В. Строгонов, А.В. Емельянов, В.И. Плебанович // *Машиностроитель*. – 2005. – № 7. – С. 31–33.

3-А. Технологические методы повышения надежности интегральных схем / М.И. Горлов, А.В. Строгонов, А.В. Емельянов, В.И. Плебанович // *Машиностроитель*. – 2005. – № 9. – С. 59–62.

4-А. Надежность полупроводниковых изделий / М.И. Горлов, А.В. Строгонов, А.В. Емельянов, В.И. Плебанович // *Машиностроитель*. – 2005. – № 11. – С. 51–53.

5-А. Надежность и качество полупроводниковых изделий / М.И. Горлов, А.В. Строгонов, А.В. Емельянов, В.И. Плебанович // *Машиностроитель*. – 2005. – № 12. – С. 35–40.

6-А. Плебанович, В.И. Локализация имплантированных примесей бора и углерода в кремнии / В.И. Плебанович, А.Р. Челядинский, В.Б. Оджаяев // *Вестник БГУ*. Сер. 1. – 2006. – № 2. – С. 16–20.

7-А. Образование остаточных нарушений в кремнии, имплантированном ионами углерода и бора / В.И. Плебанович, А.И. Белоус, А.Р. Челядинский, В.Б. Оджаяев // *Доклады БГУИР*. – 2006. – № 12(14). – С. 42–48.

8-А. Пошаговый метод ионного легирования кремния / В.И. Плебанович, А.И. Белоус, А.Р. Челядинский, В.Б. Оджаяев // *Доклады НАН Беларуси*. – 2006. – Т. 50, № 6. – С. 47–51.

9-А. Горлов, М.И. Контроль стабильности алюминиевой металлизации к явлению электромиграции по резистометрическим измерениям / М.И. Горлов, В.И. Плебанович, А.В. Строгонов // *Микроэлектроника*. – 2006. – Т. 35, № 3. – С. 251–258.

10-А. Плебанович, В.И. Методика расчета процента выхода годных микросхем при масштабировании топологических размеров / В.И. Плебанович // *Электроника инфо*. – 2006. – № 4. – С. 67–68.

11-А. Плебанович, В.И. Методика расчета процента выхода годных микросхем при масштабировании топологических размеров (окончание) / В.И. Плебанович // *Электроника инфо*. – 2006. – № 5. – С. 61–62.

12-А. Улучшение параметров мелких p^+ - n -переходов в кремнии путем дополнительных имплантации ионов углерода и ступенчатых термообработок /

О.В. Мильчанин, Ф.Ф. Комаров, В.И. Плебанович, П.И. Гайдук, А.Ф. Комаров // Доклады НАН Беларуси. – 2007. – Т. 51, № 2. – С. 40–45.

13-А. Создание бездислокационных ионно-легированных слоев кремния / В.И. Плебанович, А.И. Белоус, А.Р. Челядинский, В.Б. Оджаяев // ФТТ. – 2008. – Т. 50, № 8. – С. 1378–1382.

14-А. Пошаговый метод ионного легирования кремния в создании интегральных микросхем / В.И. Плебанович, А.Р. Челядинский, Ю.Б. Васильев, А.И. Гладчук, В.Е.Осипов // Микроэлектроника. – 2008. – Т. 37, № 3. – С. 213–218.

15-А. Плебанович, В.И. Оценка процента выхода годных микросхем при масштабировании / В.И. Плебанович // Электроника инфо. – 2008. – № 4. – С. 57–59.

16-А. Плебанович, В.И. Использование совместной имплантации ионов фосфора и сурьмы для формирования областей n -типа проводимости / В.И. Плебанович, О.В. Мильчанин, П.И. Гайдук // Электроника инфо. – 2008. – №5. – С. 43–46.

Статьи в сборниках материалов научных конференций

17-А. Плебанович, В.И. Термостабильность контактов алюминий-кремний / В.И. Плебанович, О.Ю. Наливайко // Проблемы проектирования и производства радиоэлектронных средств: сб. материалов III Междунар. науч.-тех. конф., Новополоцк, 2004 г. / Нац. акад. Наук Беларуси, Полоцк. гос. ун-т, Бел. гос. ун-т информатики и радиоэлектроники, НПО «Интеграл» и др.; редкол.: А.П. Достапко [и др.]. – Новополоцк: Полоцк. гос. ун-т, 2004. – С. 315 – 319

18-А. Контроль качества и надежности подзатворного диэлектрика КМОП и БикМОП ИС методом времязависимого пробоя / Ю.Б. Васильев, В.И. Плебанович, И.В. Простов, А.В. Турыгин // Электроника и информатика – 2005: материалы V Междунар. науч.-техн. конф., Москва., 2005 г. / МИЭТ. – М., 2005. – С. 105–106.

19-А. Efficiency of Watkins substitution in silicon during implantation and annealing / A.R. Chelyadinskii, V.I. Plebanovich, V.Yu. Yavid, P. Zukowski // Материалы и структуры современной электроники: материалы II Междунар. науч. конф., Минск, 5-6 октября 2006 г. / Белорус. гос. ун-т; редкол.: В.Б.Оджаяев [и др.]. – Минск, 2006. – С. 172–175.

20-А. Создание бездислокационных ионно-легированных слоев кремния / А.Р. Челядинский, В.И. Плебанович, А.И. Белоус, В.Б. Оджаяев // Материалы и структуры современной электроники: материалы II Междунар. науч. конф., Минск, 5-6 октября 2006 г. / Белорус. гос. ун-т; редкол.: В.Б.Оджаяев [и др.]. – Минск, 2006. – С. 237–242.

21-А. Пошаговый метод ионного легирования кремния в создании интегральных микросхем / В.И. Плебанович, А.Р. Челябинский, Ю.Б. Васильев, А.И. Гладчук, В.Е. Осипов // Физика, материаловедение и физико-химические основы технологии получения легированных кристаллов кремния и приборных структур на их основе: материалы IV Российской науч. конф. с международным участием, Москва, 3-6 июля 2007 г. / Гос. технол. ун-т (Московский ин-т стали и сплавов); – Москва, 2007. – С. 254–255.

22-А. Совместная с ионами BF_2^- имплантация углерода при создании p^+ - n -переходов в кремнии / О.В. Мильчанин, Ф.Ф. Комаров, В.И. Плебанович, А.Ф. Комаров // Взаимодействие излучений с твердым телом: материалы 7-ой Международ. конфер., Минск, 26-28 сент. 2007 г. / Белорус. гос. ун-т; редкол.: В.М. Анищик (отв. ред.) [и др.]. – Минск: Изд. центр БГУ, 2007. – С. 208–210.

Тезисы докладов на научных конференциях

23-А. Влияние поверхностной и объемной дефектности кремниевых пластин на процент выхода годных изделий для различных технологий изготовления ИМС / В.И. Плебанович, М.С. Журавель, А.Н. Петлицкий, Л.А. Попкова // Кремний. Школа-2005: тезисы лекций и докладов Третьей Российской школы ученых и молодых специалистов по физике, материаловедению и технологии получения кремния и приборных структур на его основе, Москва, 4–7 июля 2005 г. – Москва, 2005. – С. 23–26.

Статьи в сборниках научных трудов

24-А. Емельянов, А.В. Испытания на термостабильность омических контактов интегральных схем / А.В. Емельянов, М.И. Горлов, В.И. Плебанович // Твердотельная электроника и микроэлектроника: сб. науч. тр. / Воронежский гос. тех. ун-т. – Воронеж, 2005. – С. 167–173.

Патенты

25-А. Способ разделения интегральных схем по надежности: пат. 2285270 РФ, МПК G01R 31/26 / М.И. Горлов, В.И. Плебанович, Д.Ю. Смирнов; заявитель Воронеж. гос. техн. ун-т. – № 20051053368; заявл. 24.02.05; опубл. 10.10.06 // Бюл. № 28 RU 2006 №28 10.10.06 «Изобретения, полезные модели» (CD-ROM).

26-А. Способ отбора интегральных схем повышенной надежности: пат. 2295735 РФ, МПК G01R 31/303 / М.И. Горлов, Н.Н. Козьяков, В.И. Плебанович; заявитель Воронеж. гос. техн. ун-т. – № 2005123220/28; заявл. 27.07.05; опубл. 20.03.07 // Бюл. № 8 RU 2007 №8 20.03.07 «Изобретения, полезные модели» (CD-ROM).

**ФАРМИРАВАННЕ ФУНКЦЫЯНАЛЬНЫХ СЛАЕЎ ПАКРОКАВЫМ
І ДВОЙНЫМ ЛЕГІРАВАННЕМ ДЛЯ ІНТЭГРАЛЬНЫХ МІКРАСХЕМ
З ЭЛЕМЕНТАМІ СУБМІКРОННЫХ РАЗМЕРОЎ**

Ключавыя словы: дэфекты структуры, іенная імплантацыя, дыфузія, электрычныя параметры, электронная мікраскапія, рэнтгенаструктурны анализ.

Мэтай дысертацыі з'яўляецца распрацоўка метадаў стварэння бездыслакацыйных іенна-легіраваных структур у крышталях крэмнію, падаўлення нераўнавагавай паскоранай дыфузіі легіруючай прымесі ва ўмовах тэрмічнай апрацоўкі, адаптаваных да ўмоў серыйнай вытворчасці субмікронных інтэгральных мікрасхем і забяспечваючых павелічэнне выхаду годных вырабаў і запатрабаваныя эксплуатацыйныя характарыстыкі.

Аб'ектам даследаванняў з'яўляюцца крэмніевыя ІМС, іх элементы і кампаненты, іонналегіраваныя слаі крэмнію, мелказалёгаючыя вобласці і *p-n* пераходы в крэмній.

Вызначаны заканамернасці ўзнікнення дэфектаў у крэмніі, імплантаваным у стандартным і пакрокавым рэжымах, заключаныя ў тым, што фарміраванне працяглых парушэнняў абумоўлена не толькі ўзаемадзеяннем уласных кропкавых дэфектаў паміж сабой, але і з прымесямі замяшчэння. Распрацаваны метады іоннага легіравання, у якім сумяшчаецца эффект парогавай дозы ўзнікнення рэшткавых парушэнняў і эффект анігіляцыі кропкавых дэфектаў на прымесях бору, забяспечваючы атрыманне бездыслакацыйных слаёў крэмнію пры значным зніжэнні колькасці аперацый легіравання ў параўнанні з вядомымі метадамі. Распрацаваны метады стварэння мелказалёгаючых слаёў шляхам сумеснай імплантацыі BF_2 і С. Выкарыстанне распрацаваных метадаў дазволіла павысіць выхад годных вырабаў і палепшыць параметры элементаў інтэгральных схем.

Распрацавана метадыка разліку працэнта выхаду годных мікрасхем пры маштабіраванні, дазваляючая ацэньваць колькасць годных крышталаў у залежнасці ад мінімальнай праектнай нормы пры вядомых каэфіцыентах шчыльнасці ўпакоўкі ІМС, дэфектнасці маршруту.

Ступень выкарыстання: вынікі дысертацыі выкарыстаны ў сярыйнай вытворчасці ІМС з элементамі субмікронных памераў на НВА "Інтэграл".

Галіна прымянення: матэрыялазнаўства, тэхналогія прыбораў мікразэлектронікі.

РЕЗЮМЕ

Плебанович Владимир Иванович

ФОРМИРОВАНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ СЛОЕВ ПОШАГОВЫМ И ДВОЙНЫМ ЛЕГИРОВАНИЕМ ДЛЯ ИНТЕГРАЛЬНЫХ МИКРОСХЕМ С ЭЛЕМЕНТАМИ СУБМИКРОННЫХ РАЗМЕРОВ

Ключевые слова: дефекты структуры, ионная имплантация, диффузия, электрические параметры, электронная микроскопия, рентгеноструктурный анализ.

Целью диссертационной работы является разработка методов создания бездислокационных ионно-легированных структур в кристаллах кремния, подавления неравновесной ускоренной диффузии легирующей примеси при термообработках, адаптированных к условиям серийного производства субмикронных интегральных микросхем и обеспечивающих увеличение выхода годных изделий и требуемые эксплуатационные характеристики.

Объектом исследования являются кремниевые ИМС, их элементы и компоненты, ионнолегированные слои кремния, мелкозалегающие области и р-п-переходы в кремнии.

Установлены закономерности дефектообразования в кремнии, имплантированном в стандартном и пошаговом режимах, заключающиеся в том, что формирование протяженных нарушений определяется не только взаимодействием собственных точечных дефектов друг с другом, но и с примесями замещения. Разработан метод ионного легирования, совмещающий эффект пороговой дозы образования остаточных нарушений и эффект аннигиляции точечных дефектов на примесях бора, обеспечивающий получение бездислокационных слоев кремния при существенном снижении числа операций легирования по сравнению с известными методами. Разработан метод создания мелкозалегающих слоев путем совместной имплантации VF_2 и С. Использование разработанных методов позволило повысить выход годных изделий и улучшить параметры элементов интегральных схем.

Разработана методика расчета процента выхода годных микросхем при масштабировании, позволяющая оценить количество годных кристаллов в зависимости от минимальной проектной нормы при известных коэффициентах плотности упаковки ИМС, дефектности маршрута.

Степень использования: результаты диссертационной работы использованы в серийном производстве ИМС с элементами субмикронных размеров на НПО «Интеграл»

Область применения: материаловедение, технология приборов микроэлектроники.

SUMMARY
Plebanovich Vladimir Ivanovich

**FORMATION OF FUNCTIONAL LAYERS BY SINGLE-STEP AND
DOUBLE IMPLANTATION FOR INTEGRATED CIRCUITS WITH THE
ELEMENTS OF SUBMICRON DIMENSIONS**

Keywords: structure defects, ion implantation, diffusion, electrical parameters, electron microscopy, x-ray diffraction analysis.

The aim of the dissertation work is development of the methods of creation of dislocation-free ion-doped structures in silicon crystals, elimination of transient enhanced diffusion of doped impurities at thermal annealing, adapted to the conditions of mass production of submicron integrated circuit and guaranteeing increasing the product yield with the required performance parameters.

The objects of this study are silicon ICs, their elements and components, ion-implanted silicon layers, shallow-lying areas and p-n-junctions in silicon.

The regularities of the defect formation in the silicon implanted in standard and single-step regimes were established, consisting in the fact, that residual defect formation is determined not only by interaction of own point defects with each other, but with substitutional impurities. The method of ion implantation combining the effect of threshold dose of residual defect formation and effect of point defect annihilation on boron atoms and providing the dislocation-free layers of silicon with significant decrease quantity of implantation operations in comparison with the known method have been developed. The method of creation of shallow doped layers by means of BF_2 and C co-implantation has been developed. Use of the developed methods allowed to increase the yield and to improve the parameters of integrated circuits.

The methodology of the calculation of integrated circuit yield during scaling operation, which enables to estimate the chip yield versus minimal design rules for given packaging density coefficient of integrated circuit and defectiveness of the process flow, has been developed.

Application: the results of the dissertation work were used in mass production of ICs with the elements of submicron dimensions at "INTEGRAL" Joint Stock Company.

Sphere of application: materials science, microelectronic devices technology.

Научное издание

ПЛЕБАНОВИЧ ВЛАДИМИР ИВАНОВИЧ

**ФОРМИРОВАНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ СЛОЕВ
ПОШАГОВЫМ И ДВОЙНЫМ ЛЕГИРОВАНИЕМ ДЛЯ
ИНТЕГРАЛЬНЫХ МИКРОСХЕМ С ЭЛЕМЕНТАМИ
СУБМИКРОННЫХ РАЗМЕРОВ**

Специальность 05.27.01 – Твердотельная электроника,
радиоэлектронные компоненты, микро- и нанoeлектроника,
приборы на квантовых эффектах

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Подписано в печать 12.05.2010.	Формат 60x84 1/16.	Бумага офсетная .
Гарнитура «Таймс».	Печать ризографическая.	Усл. печ. л. 1,63.
Уч.-изд. л. 1,4.	Тираж 60 экз.	Заказ 360.

Издатель и полиграфическое исполнение: Учреждение образования
«Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники»
ЛИ №02330/0494371 от 16.03.2009. ЛП №02330/0494175 от 03.04.2009.
220013, Минск, П. Бровки, 6