

УДК 621.382.28

В.Н. ЛИТВИНЕНКО

Херсонський національний технічний університет

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СЕЗОННЫХ ФАКТОРОВ НА ОБРАТНЫЕ ТОКИ КРЕМНИЕВЫХ ВАРИКАПОВ

Установлены причины сезонных периодов (ноябрь-март) резкого увеличения уровня обратных токов варикапов в процессе их круглогодичного производства. Показано, что причиной периодического увеличения уровня обратных токов варикапов является высокая концентрация органических примесей в воде, используемой в производстве варикапов. Рассмотрен механизм влияния органических примесей в воде на параметры варикапа. Предложен эффективный метод геттерирования окислительных дефектов упаковки в активных областях варикапа путем проведения дополнительной диффузии бора в рабочую сторону пластин перед химическим осаждением никеля. Приведены экспериментальные результаты исследования влияния геттерирования на выход годных варикапных структур.

Ключевые слова: геттерирование, обратный ток, кремний, варикап, диффузия, окислительные дефекты упаковки.

В.М. ЛИТВИНЕНКО

Херсонський національний технічний університет

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ СЕЗОННИХ ФАКТОРІВ НА ЗВОРОТНІ СТРУМИ КРЕМНІЄВИХ ВАРИКАПІВ

Установлені причини сезонних періодів (листопад-березень) різкого збільшення рівня зворотних струмів варикапів в процесі їх цілорічного виробництва. Показано, що причиною періодичного збільшення рівня зворотних струмів варикапів є висока концентрація органічних домішок у воді, яка використовується у виробництві варикапів. Розглянуто механізм впливу органічних домішок у воді на параметри варикапу. Запропоновано ефективний метод гетерування окислювальних дефектів упаковки в активних областях варикапу шляхом проведення додаткової дифузії бору в робочу сторону пластин перед хімічним осадженням нікелю. Приведені експериментальні результати дослідження впливу гетерування на вихід придатних варикапних структур.

Ключові слова: гетерування, зворотний струм, кремній, варикап, дифузія, окислювальні дефекти упаковки.

V.N. LITVINENKO

Kherson National Technical University

RESEARCH OF INFLUENCING OF SEASONAL FACTORS ON REVERSE CURRENTS SILICIC VARACTORS

Reasons of seasonal periods (November-March) of sharp increase of level of reverse currents of varactors are set in the process of their whole-year production. It is shown that reason of periodic increase of level of reverse currents of varactors is a high concentration organic impurities in water, utilized in the production of varactors. The mechanism of influencing of organic admixtures is considered in water on the parameters of varactors. The effective method of gettering of oxidizing defects of packing is offered in the active areas of varactors by conducting of additional diffusion of the boron in the working side of plates before the chemical besieging of nickel. The experimental results of research of influencing of gettering are resulted on the output of suitable variable patterns.

Keywords: gettering, reverse current, silicon, varactors, diffusion, oxidizing defects of packing.

Постановка проблемы

Природные воды могут быть загрязнены самыми различными примесями, разделяющимися на группы по их биологическим и физико-химическим свойствам [1]. К первой группе относятся вещества, растворяющиеся в воде и находящиеся там в молекулярном или ионном состоянии (это две разные подгруппы). Вторая группа — это те вещества, которые образуют с водой взвеси или коллоидные системы (это также две разные подгруппы). В коллоидном состоянии могут быть минеральные или органические частицы, нерастворимые формы гумуса и отдельные вирусы. Взвесями же являются чаще всего планктон, бактерии и нерастворимые мельчайшие твердые частицы.

Органические вещества — продукты частичного распада мертвых растений и животных, выделения водных животных и растений, гуминовые кислоты и другие органические вещества, вымываемые из почвы, почти всегда присутствуют в природных водах. Особенно много их содержится в воде торфяных болот, а вода рек, вытекающих из таких болот, обычно окрашена в желто-коричневый цвет именно органическими веществами. Окисляясь, органические примеси поглощают растворенный кислород и могут значительно уменьшать его концентрацию в воде. Кроме растворенных, органические вещества присутствуют в воде также в виде мертвых микробов, водорослей и других микроскопических организмов.

Органические примеси, попадая на поверхность кремниевых р-п структур, в процессах их последующих термических обработок диффундируют в глубь пластин, что приводит к образованию структурных дефектов в кремнии [1].

В производстве полупроводниковых приборов используется особо чистая вода, получаемая чаще всего из открытых водоемов и водоемов, связанных с грунтовыми водами с минимальным количеством примесей [2]. К нежелательным примесям в воде относятся примеси тяжелых металлов, органические примеси. Примеси тяжелых металлов в основном встречаются в виде заряженных атомов – ионов, которые сравнительно легко удаляются при очистке воды ионообменными смолами. При очистке воды от органических загрязнений возникают трудности, так как состав органических примесей в исходной воде весьма разнообразен: обычно это фульвокислоты, сульфокислоты и гуминовые кислоты, лигнино - сульфокислоты, микроорганизмы, водоросли и продукты их жизнедеятельности [2]. Особенно резкое повышение содержания органических примесей в воде открытых водоемов наблюдается осенью, что приводит к периодическому отравлению ионообменных смол, применяемых для очистки воды, и, следовательно, к ухудшению качества деионизованной воды [2].

В рассматриваемом случае наблюдалась тенденция – резкое увеличение уровня обратных токов структур кремниевого варикапа и соответствующее снижение процента выхода годных приборов на протяжении периода ноябрь-март при непрерывном круглогодичном производстве приборов. Начиная с апреля месяца процент выхода годных варикапов начинал расти и в дальнейшем восстанавливался до среднего уровня для данного прибора. Так повторялось из года в год на протяжении многих лет.

Формирование цели исследования

Данная работа посвящена выяснению причин сезонных периодов резкого увеличения уровня обратных токов варикапов и снижения выхода годных приборов, а также выбору эффективного метода геттерирования структурных дефектов для увеличения выхода годных варикапов.

Анализ последних исследований и публикаций

Одно из важнейших направлений развития технологии полупроводниковых материалов — повышение качества. Применительно к монокристаллическому кремнию – основному материалу полупроводниковой микроэлектроники и силовой электроники наиболее актуальным является создание структурно-совершенных монокристаллов с повышенной макро- и микрооднородностью удельного сопротивления, минимальным содержанием неконтролируемых примесей (таких как углерод, металлы и т.д.) и повышению стабильности всех этих характеристик в процессе дальнейших технологических операций изготовления полупроводниковых приборов. Особый вес этой проблеме придает переход микроэлектроники на создание мегабитных, а затем и гигабитных интегральных схем с использованием субмикронного уровня, требующих дальнейшего существенного повышения качества и в первую очередь микронеоднородности используемых полупроводниковых материалов. Полупроводниковая промышленность остро нуждается в детальном понимании явлений, связанных с поведением дефектов, т.к. оказывается, что рабочие характеристики и выход годной продукции в производстве полупроводниковых приборов тесно связаны с присутствием в них дефектов и примесей. Поэтому, в последнее время уделяется большое внимание не просто изучению дефектов материала как таковых, но и исследованию их трансформации, а также выявлению причин возникновения этих дефектов в выращиваемом материале (что подразумевает анализ производственной технологии).

В современной технологии производства полупроводниковых приборов для устранения структурных дефектов из активных областей приборов применяют эффективные методы геттерирования.

Одним из таких методов является метод создания внутреннего геттерирующего слоя, локализованного в непосредственной близости к активным областям приборов [3], основанные на внедрении средних доз ионов H^+ , He^+ . В процессах проведения последующих высокотемпературных технологических операций (например, термическое окисление, диффузия и др.) нежелательные примеси из активных областей приборов диффундируют в область внутреннего геттера и захватываются ею. Кроме того наличие внутреннего геттера дает возможность уменьшить размеры структурных дефектов в кремнии (например, окислительных дефектов упаковки) или полностью их ликвидировать [4, 5]. Однако технологический процесс создания внутреннего геттера является дорогостоящим и не всегда вписывается в технологический маршрут изготовления прибора, поэтому во многих практических

случаях можно использовать недорогие, но хорошо согласующиеся с технологией изготовления данного полупроводникового прибора методы геттерирования дефектов.

Следует отметить также метод лазерного геттерирования, который широко применяется в настоящее время. В работе [6] предлагается установка для проведения низкотемпературного лазерного геттерирования примесей и структурных дефектов в кремнии. Метод лазерного геттерирования целесообразно применять для геттерирования дефектов на заключительных операциях технологического маршрута изготовления прибора, когда высокотемпературный отжиг р-п структур нежелателен.

Важно иметь специальное оборудование для исследования структуры полупроводникового материала в активных областях р-п структур. Только после досконального исследования причин, приводящих к ухудшению электрических параметров и снижению выхода годных приборов можно провести эффективную оптимизацию технологического процесса изготовления полупроводникового прибора. В работе [7] предложен спектральный телевизионный комплекс, позволяющий исследовать структуру полупроводникового материала для выявления посторонних примесей и структурных дефектов в полупроводниковом материале.

Исследование дефектов в кремнии можно проводить, используя метод рентгеновской топографии [8]. Этот метод нашел широкое применение, так как он является неразрушающим методом контроля кремниевых структур и может быть использован на любом этапе технологического маршрута изготовления полупроводникового прибора.

Изложение основного материала исследования

Для выяснения причин периодических резких изменений параметров варикапов были запущены опытные партии приборов. Причем исследования проводились на протяжении неблагоприятного периода ноябрь-март. Структуры варикапов изготавливались по стандартной эпитаксиально - планарной технологии [9]. В качестве исходного материала использовали кремниевые эпитаксиальные пленки с удельным сопротивлением 1,5 Ом-см и толщиной 10мкм. Процесс изготовления варикапов включал следующие высокотемпературные операции: окисление структур в атмосфере водяного пара при температуре 1050°C в течение 90 мин. с последующим отжигом в атмосфере аргона при температуре окисления, диффузию бора для формирования р-п перехода, проводимую в две стадии: загонку из источника В₂О₃ при температуре 1100°C в течение 15 мин. и разгонку бора в среде влажного и сухого кислорода при T= 1150°C в течение 75 мин. Омические контакты на варикапных структурах получали путем химического осаждения никеля с последующей термообработкой структур в инертной среде при температуре 600°C в течение 12 мин.

Исследование причин резкого увеличения обратного тока варикапов в неблагоприятные периоды показало, что увеличение уровня обратных токов наступало после термообработки структур, проводимой после химического осаждения никеля с целью улучшения адгезии пленки никеля к кремнию и снижения сопротивления контакта никель-кремний.

Для выяснения причины резкого увеличения уровня обратных токов варикапных структур после термообработки были проведены металлографические исследования. С этой целью после проведения разгонки бора и удаления окисла в растворе плавиковой кислоты пластины были подвергнуты селективному травлению в реактиве Сиртла в течение 12 сек. После такой обработки проводилось исследование дефектов структуры в металлографическом микроскопе МИМ-7. В активных областях варикапных структур были выявлены ОДУ плотностью $10^3-10^5 \text{ см}^{-2}$ (рис.1).



Рис. 1. Микрофотография поверхности структуры кремниевого варикапа после селективного травления

Механизм образования ОДУ можно представить следующим образом. Органические примеси, находящиеся в воде, попадают на пластины кремния, а также в кварцевые трубы, где проводится

окисление пластин (например, процесс разгонки бора в окисляющей среде), диффундируют в процессе высокотемпературной операции в кристаллическую решетку кремния, вызывая механические напряжения, которые приводят к образованию ОДУ. Как уже отмечалось выше, наибольшее загрязнение водоемов органическими примесями наблюдается осенью, на протяжении зимы поддерживается высокая концентрация органических примесей и снижается к весне за счет уменьшения поступления микроорганизмов в водоемы и самоочистки воды [2], что как раз и характеризует сезонные изменения параметров варикапов.

Были проведены исследования по выбору эффективного метода геттерирования ОДУ, органично вписывающегося в технологический маршрут изготовления варикапа.

Предварительные исследования показали, что наиболее эффективным методом ликвидации уже образовавшихся ОДУ является проведение перед химическим осаждением никеля дополнительной загонки бора в рабочую сторону пластин при температуре 1025-1050°C в течении 20-30 мин. в среде аргона с добавлением 5% кислорода [10]. Как свидетельствуют результаты экспериментов, проведение геттерирования на более ранних стадиях технологического маршрута изготовления варикапа менее эффективно.

На рис. 2 представлены обратные ветви ВАХ варикапных структур: изготовленной по базовой технологи (без использования геттерирования, кривая 2) и изготовленной по предложенной технологии (с использованием геттерирования посредством проведения дополнительной загонки бора в рабочую сторону пластины при $T=1030^{\circ}\text{C}$ в течение 20 минут, кривая 1).

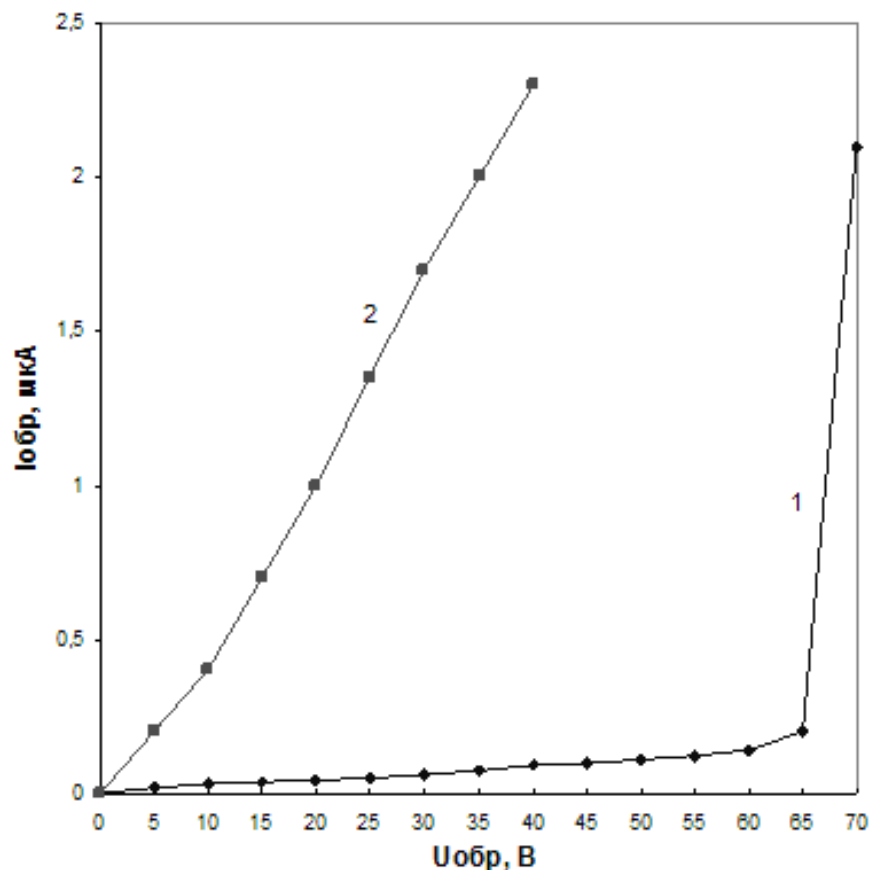


Рис. 2. Вольт - амперные характеристики варикапных структур:
1 – варикапная структура, изготовленная по оптимизированной технологии;
2 – варикапная структура, изготовленная по базовой технологи

Как видно из рис. 2, применение геттерирования дает возможность значительно уменьшить уровень обратных токов варикапов. В то же время кривая обратной ВАХ варикапной структуры, изготовленной без использования геттерирования, имеет форму «мягкой» ВАХ, что указывает на наличие в активных областях диодов декорированных никелем ОДУ [4].

В табл. 1 приведены сравнительные результаты 100% - й разбраковки по обратному току варикапов, изготовленных по базовой (партии №1, 2) и разработанной (партии №3, 4) технологиям. Критерий годности: $I_{обр} \leq 1$ мкА при обратном напряжении 35 В.

Таблиця 1

Влияние геттерирования на обратные токи варикапных структур

Технология изготовления варикапных структур	Номер партии пластин	Выход годных варикапов по обратному току, %
Без использования геттерирования	1	57
	2	61
С использованием геттерирования путем проведения дополнительной загонки бора	3	83
	4	86

Как видно из табл. 1, использование геттерирования дает возможность существенно повысить выход годных варикапных структур. Металлографические исследования, проведенные на структурах варикапов, изготовленных с использованием дополнительной диффузии бора, показали отсутствие ОДУ в активных областях варикапов.

Механизм влияния геттерирования посредством проведения дополнительной диффузии бора в рабочую сторону пластин перед химическим осаждением никеля можно представить следующим образом. В процессе проведения дополнительной загонки бора в рабочих окнах варикапных структур формируется сильнолегированный бором p^+ -геттерирующий слой. При этом составляющие образовавшихся в процессе разгонки бора и на предшествующих ей высокотемпературных операциях ОДУ междоузельные атомы кремния диффундируют к созданной области геттера и захватываются ею. В результате этого ранее образовавшиеся ОДУ уменьшаются в размерах или полностью исчезают.

Выводы

Таким образом, причиной сезонных изменений параметров варикапов является существенное загрязнение воды открытых водоемов и водоемов, связанных с грунтовыми водами органическими примесями, которые трудно поддаются контролю и удалению. Органические примеси, попадая на поверхность варикапных структур, в процессах высокотемпературных технологических операции диффундируют в кристаллическую решетку кремния, вызывают механические напряжения в решетке и, как следствие, - образование ОДУ в кремнии. В процессе отжига пластин после химического осаждения атомы никеля, локально ускоряясь вдоль частичных дислокаций Франка, ограничивающих ОДУ [11], проникают в область объемного заряда p - n перехода варикапа и накапливаются там, декорируя дефекты.

Влияние никеля на обратный ток p - n перехода можно объяснить образованием им в запрещенной зоне кремния двух акцепторных уровней, вызывающих дополнительную генерацию носителей тока в области пространственного заряда p - n перехода [12]. Этим можно объяснить резкое увеличение после термообработки уровня обратных токов варикапной структуры, изготовленной без использования дополнительной загонки бора (рис.2, кривая 2).

Использование геттерирования, путем проведения диффузии бора в рабочую сторону пластин перед химическим осаждением никеля, позволяет полностью ликвидировать (или значительно уменьшить плотность) ОДУ, образовавшихся в процессе разгонки бора и предшествующих ей высокотемпературных технологических операциях, что обеспечивает снижение уровня обратных токов варикапов и увеличение выхода годных приборов.

Список использованной литературы

1. Хаякава И. Чистые помещения / И. Хаякава; пер. с японск. В.Ю. Акифьева, Л.Н. Дмитрука, М.Е. Паннокова. – М.: Мир, 1990. – 456с.
2. Луфт Б.Д. Очистка деталей электронных приборов / Б.Д. Луфт, А.Л. Шустина. – М.: «Энергия», 1968. – 320с.
3. Комаров Ф.Ф. Формирование водородоиндуцируемых дефектов и их применение в технологии микро- и оптоэлектроники / Ф.Ф. Комаров, О.В. Мильчанин, А.М. Миронов // Вестник БГУ. Сер. 1. - 2006. - №3. – С. 56-62.
4. Рейви К. Дефекты и примеси в полупроводниковом кремнии / К. Рейви; пер. с англ. В.В. Высоцкой, П.П. Поздеева, Т.М. Ткачевой, О.П. Федоровой. - М.: Мир, 1984.- 472 с.
5. Кулинич О.А. Влияние исходных дефектов на распределение механических напряжений и деформаций при окислении кремния / О.А. Кулинич, В.А. Смынтына, М.А., Глауберман // ТКЭА. - 2008. - № 5. - С. 62 – 64.
6. Вечер Д.В. Установка лазерного геттерирования кремниевых пластин / Д.В. Вечер // Труды БГУИР. - 2007. - №1(17). – С. 109-114.
7. Хлопков Ю.В. Спектральный телевизионный комплекс для научно-технических исследований изделий микроэлектроники с программной обработкой видеоизображения / Ю.В. Хлопков // Материалы IV Международной научно-технической конференции «Проблемы проектирования и производства радиоэлектронных средств». Том 2. - Новополоцк: ПГУ, 25-26 мая 2006г. - С. 131-134.

8. Мильвидский М.Г. Наблюдение микродефектов в Si методами рентгеновской топографии / М.Г Мильвидский, Ю.А. Осипьян, И.А. Смирнова // Поверхность. - 2001. - № 6. - С. 5-10.
9. Курносое А.И. Технология изготовления ПП и ИМС / А.И. Курносое, В.В. Юдин. - М.: Радио и связь, 1986.- 368 с.
10. Лабунов В.А. Современные методы геттерирования в технологии полупроводниковой электроники / В.А. Лабунов, И.Л. Баранов, В.П. Бондаренко, А.М. Дорофеев // Зарубежная электронная техника. - 1983. - № 11(270). - С. 3-66.
11. Волков А.Ф. Влияние термических операций на характеристики кремния. Обзоры по электронной технике / А.Ф. Волков, Н.А. Зайцев, М.В. Суриков // Обзоры по электронной технике. Сер. 6. Материалы. - 1983. - №10. - С. 30-35.
12. Милнс А. Примеси с глубокими уровнями в полупроводниках / А. Милнс; пер. с англ. Г.С. Пекаря. - М.: Мир, 1977. - 562с.