

УДК 621.3.049.77:621.373.826

ВЛИЯНИЕ ЛАЗЕРНОГО ГЕТТЕРИРОВАНИЯ НА ПАРАМЕТРЫ БИПОЛЯРНЫХ ИНТЕГРАЛЬНЫХ МИКРОСХЕМ

В.А. ПИЛИПЕНКО, Д.В. ВЕЧЕР, В.А. ГОРУШКО,
В.В. ПОНАРЯДОВ, В.С. СЯКЕРСКИЙ, Т.В. ПЕТЛИЦКАЯ

*НТЦ "Белмикросистемы" УП "Завод полупроводниковых приборов" НПО "Интеграл"
Корженевского, 12, Минск, 220108, Беларусь*

Поступила в редакцию 9 сентября 2009

Представлены результаты влияния лазерного геттерирования на электрические параметры биполярных микросхем. Показано, что за счет уменьшения распространения линий скольжения, снижения плотности дислокаций в эпитаксиальной пленке и исключения возникновения проводящих шунтов в области активных и пассивных элементов, удается устранить деградацию электрических параметров интегральных микросхем, обеспечивая тем самым увеличение в два раза выход годных изделий.

Ключевые слова: геттерирование, контроль, параметры, элементы.

Введение

Технология субмикронных интегральных микросхем (ИМС) предъявляет высокие требования к различным материалам и, прежде всего к кремнию. Большую роль при этом играет наличие в нем точечных дефектов и загрязняющих примесей, которые оказывают большое влияние на электрические параметры создаваемых ИМС. В кремнии, который применяется в настоящее время в полупроводниковом производстве, основными дефектами являются кластеры, преципитаты, дислокационные петли субмикронных размеров, окислительные дефекты упаковки, металлические примеси. В процессе создания ИМС пластина кремния подвергается большому количеству технологических обработок, которые приводят к загрязнению поверхности и объема неконтролируемыми примесями. Термообработка в диффузионных печах, обогащает кремний такими металлическими примесями как Fe, Ni, Cr, Cu, которые при высоких температурах испаряются с внутренней поверхности металлических частей печи и, проникая в кварцевый реактор, диффундируют в объем кремниевой пластины [1–3]. В установках эпитаксиального наращивания потенциальным источником примесей является графитовый нагреватель, который в процессе нагревания испускает переходные металлы, например, Fe, Ti.

Имеется также возможность загрязнения кремниевых пластин металлическими примесями при очистке, отмывке, транспортировке пластин [3, 4], ионной имплантации [5] и плазмохимической обработке [6]. Все это приводит к тому, что концентрация металлических примесей в объеме кремниевой пластины в процессе термообработки может достигать до 10^{18} см⁻³, а в приповерхностной области на 1–2 порядка выше [7].

Одним из способов очистки кремния от данных дефектов и загрязняющих примесей является геттерирование, которое обеспечивает их диффузию к центрам геттерирования, тем самым уменьшая дефектность в области создания активных и пассивных элементов биполярных ИМС.

Экспериментальная часть

Лазерная обработка кремниевых пластин для создания геттерирующего слоя проводилась непрерывным лазерным излучением с нерабочей стороны пластины в естественных атмосферных условиях. Для обработки непрерывным лазерным излучением использовался АИГ:Nd⁺-лазер ЛТН-102 с выходной мощностью 120 Вт, генерирующий на длине волны 1,06 мкм. Геттерирующий слой создавался непрерывным лазерным излучением с плотностью мощности $5,5 \cdot 10^5$ Вт/см², скоростью сканирования 60 см/с, шагом сканирования 200 мкм.

Контроль вольт-амперных характеристик (ВАХ) осуществлялся на автоматизированном измерительном комплексе контроля ВАХ HP 4156 В (Hewlett-Packard, США). Диапазон определяемых (задаваемых) характеристик токов составлял от 10^{-15} до 10^{-2} А при напряжениях от 0,001 до 100 В. Погрешность измеряемых (задаваемых) значений токов и напряжения составляла 0,1%.

Результаты и их обсуждение

Одним из основных моментов, для достижения эффективного геттерирования точечных дефектов и загрязняющих примесей, является выбор места создания геттерирующего слоя в технологическом цикле создания ИМС, так как его эффективность во многом определяется температурой, временем и средой проведения высокотемпературной обработки [8].

Анализ технологического процесса создания биполярных ИМС показал, что оптимальным местом для создания геттерирующего слоя является его формирование перед операцией "разгонка сурьмы", поскольку она проводится в среде кислорода с максимальной температурой. Создание геттерирующего слоя с использованием лазерной обработки, обеспечивает уменьшение коэффициента заполнения площади пластины линиями скольжения и снижение концентрации загрязняющих примесей в объеме кремния.

Для выяснения влияния процесса лазерного геттерирования на электрические параметры и выход годных биполярных схем было проведено его опробование в технологическом цикле создания оперативно-запоминающих ИМС. С целью обеспечения адекватности полученных результатов в каждой партии лазерный геттер создавался на пластинах с нечетными номерами, а пластины с четными служили для сравнения.

Анализ вольт-амперных характеристик (ВАХ) транзисторов (таблица), располагаемых вне и над областями геттера, показал, что основной причиной брака является высокий коэффициент заполнения линиями скольжения пластин, не прошедших геттерирование, который составляет 0,7–0,8. Это приводит к пониженным пробивным напряжениям между коллектором и эмиттером, а также наличию утечек при проверке данного параметра. Для годных изделий данная величина составляет 6 В при норме ≥ 5 В, в то время как на забракованных приборах, как показано в таблице, она была менее 5 В. Пробивные напряжения коллектор-эмиттер и коллектор база для транзисторов располагаемых над линиями скольжения по сравнению с транзисторами, сформированными над областями, свободными от них меньше, что связано с наличием узкого места в области перехода эмиттер-база.

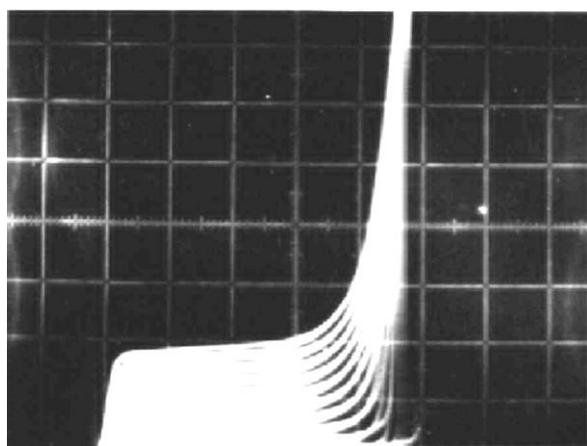
Электрические параметры СБИС, полученных с применением лазерного геттерирования кремниевых пластин

Расположение транзистора	Толщина эпитаксиальной пленки, мкм	Электрические параметры СБИС							
		$U_{кб}$, В	$U_{кэ}$, В	$U_{иб}$, В	$U_{эб}$, В	β_N	β_P	$U_{вых}$, В	$I_{пит}$, мА
Вне линий скольжения	1,50	17	6,0	12	6,0	70	0,9	6,0	60,1
Над линиями скольжения	1,50	15	4	12	5,5	90	0,9	6,1	87,5

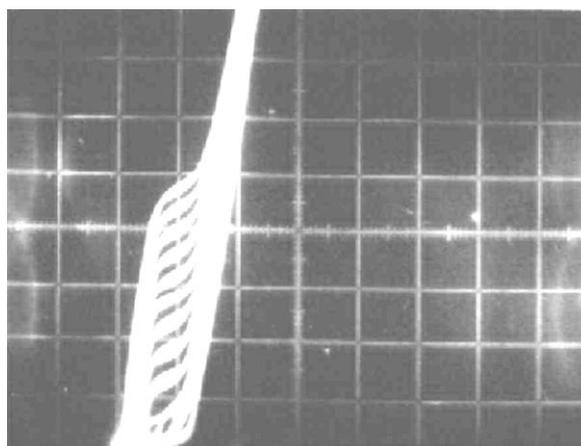
Анализ ВАХ транзисторов, располагаемых вне и над областями с линиями скольжения показал (рисунок), что в случае их расположения над линиями скольжения имеет место

деградация ВАХ (рисунок б) вплоть до короткого замыкания между эмиттером и коллектором (рисунок в).

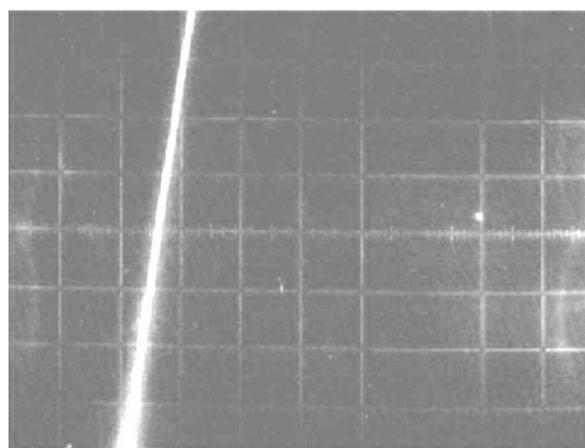
Вид ВАХ транзистора, располагаемого вне области линий скольжения (а) и над областью их расположения (рисунок б, в).



а



б



в

ВАХ биполярных транзисторов

Причиной такой деградации является ускоренная диффузия легирующих или загрязняющих примесей при проведении отжига эмиттера в условиях наличия и распространения линий скольжения. Это связано с ускоренной диффузией по границам дефектов, где коэффициент диффузии сурьмы и фосфора при 1000°C в эпитаксиальных слоях в 10–15 раз выше, чем в объеме кремния. Наличие ускоренной диффузии по дефектам упаковки и дислокациям обусловлено тем, что она осуществляется по границе дефект-объем эпитаксиального слоя.

Существует мнение о том, что число дислокаций, пересекающих активные области ИМС, определяет величины обратных токов, однако годные приборы имеются и в областях сильно развитого скольжения. Это означает, что не все дефекты, а только их часть проявляют активность и влияют на электрические параметры приборов.

Наличие anomalously высокой диффузии в областях со структурными дефектами нередко приводит к уменьшению толщины базы, из-за неравномерного фронта диффузии эмиттерной примеси. Это в свою очередь вызывает появление "горячих точек" в области эмиттера, температура которых на $100\text{--}200^{\circ}\text{C}$ выше, а следовательно, к появлению вторичного пробоя, заключающегося в резком уменьшении напряжения между эмиттером и коллектором с одновременным ростом коллекторного тока.

Если транзистор находится достаточно долго (~1 мс) в состоянии вторичного пробоя, то происходит плавление металлизации, ее проникновение сквозь базу, что приводит к короткому замыканию в цепях эмиттер-база, эмиттер-коллектор. Возможно также нежелательное влияние дислокаций на пробой $p-n$ -перехода, заключающееся в образовании неравномерностей электрического поля и снижения пробивных напряжений вследствие аномальных выбросов напряженности поля в районе скопления дислокационных дефектов. Это приводит к тому, что пробивное напряжение $p-n$ -переходов на практике ниже теоретических значений.

Наиболее сложные по своей структуре дефекты образуются при взаимодействии их друг с другом и с примесями. Дислокации могут действовать как центры осаждения загрязняющих примесей, которые всегда присутствуют в кремнии. Это связано с тем, что движение примесей к дислокациям происходит за счет действия имеющегося вокруг них поля напряжений. При этом электрическая активность дислокаций связана с наличием на них примесей, как в форме силицидов металлов, так и самих ионов металлов. Количество примеси на дислокациях зависит от поля деформации дислокации (или другого дефекта), а также типа дислокации, размерного и модульного эффектов взаимодействия атомов примеси и дислокации. В любом случае концентрация точечных дефектов, в частности примесей, в области дислокации будет выше, чем вдали от нее. Если концентрация примеси на дислокациях при термообработке превышает равновесную, то происходит образование преципитатов, которые способны в несколько раз уменьшить пробивное напряжение между коллектором и базой ($U_{кб}$). В некоторых случаях такие шунты могут соединить даже эмиттер с коллектором и переходить в проводящее состояние при напряжении $U_{кб}$ и $U_{кэ}$ более 3–5 В. Количество же выделенных примесей растет с температурой и временем термообработки, что приводит к увеличению размеров таких шунтов и уменьшению пробивных напряжений.

Электрическая активность дефектов упаковки обусловлена в основном наличием вершинных дислокаций, связанных с присутствием дефектов упаковки. Причем их активность зависит от количества преципитатов, образующихся на этих дислокациях, — чаще всего быстродиффундирующих примесей. Наличие таких дефектов приводит, как и в случае дислокаций, не связанных с наличием дефектов упаковки, к увеличению обратных токов утечки.

Электрическая активность того или иного дефекта зависит от его положения по отношению к активным областям ИМС или от того, пересекает или нет, этот дефект область обеднения. При этом различие в технологических особенностях изготовления ИМС и их функционального назначения будет приводить к тому, что влияние однотипных дефектов в разных приборах будет неодинаковым.

Данный вид брака наблюдался в основном на пластинах, не прошедших геттерирование. В противном случае коэффициент заполнения линиями скольжения составлял 0,24–0,28, что в 2,9 раза меньше, чем на пластинах без геттера. Кроме того, такая обработка обеспечивала значительное уменьшение плотности дислокаций в эпитаксиальной пленке. Все это привело к увеличению выхода годных приборов в 2,0 раза.

Сравнение выхода годных приборов после их сборки и измерения электрических параметров показал, что с использованием геттера он составляет 48,5% против 36,8%, что на 11,6% выше, чем без него. Это связано с уменьшением тока потребления приборов, имеющих геттерирующий слой с нерабочей стороны пластины, т.е. с перераспределением значений токов потребления в сторону меньших величин от 87,46 до 60,1 мА. Данный факт обусловлен тем, что на кристаллах, имеющих геттерирующий слой, произошло перераспределение загрязняющих примесей типа Cu, Fe, Na и других в сторону геттера с образованием их устойчивой связи с центрами геттерирования. Это в свою очередь, привело к увеличению времени жизни неосновных носителей заряда, а, следовательно, к уменьшению токов потребления готовых приборов.

Заключение

Применение лазерного геттерирования в технологии создания биполярных ИМС позволяет, за счет уменьшения распространения линий скольжения, снижения плотности дислокаций в эпитаксиальной пленке и исключения возникновения проводящих шунтов

в области активных и пассивных элементов, устранить деградацию электрических параметров приборов и в 2 раза увеличить выход изделий.

INFLUENCE OF LASER GETTERING ON BIPOLAR IC PARAMETERS

V.A. PILIPENKO, D.V. VECHER, V.A. GORUSHKO,
V.V. PONARYADOV, V.S. SYAKERSKY, T.V. PETLITSKAYA

Abstract

The results of the laser gettering on the electric parameters of the Bipolar microcircuits are presented. It is shown, that due to reduction of the of the slide lines spread, lowering down density of dislocations in the epitaxial film and exclusion of emergence of the conductive bypasses in the area of the active and passive elements, it is attainable to eliminate degradation of the IC electric parameters, thus ensuring the good percentage two times higher.

Литература

1. Скиданов В.А. // Электронная промышленность. 2003. Вып. 3. С. 135–138.
2. Koob P.W., Fraundorf G.K., Craven K.A. // J. of the Electrochemical Soc. 1986. Vol. 133. No. 4. P. 806–810.
3. Mouche L., Mouche F. Tardif J. // J. of the Electrochemical Soc. 1995. Vol. 142. No. 7. P. 2395–2401.
4. Kolbesen B.O., Strunk H.P // VLSI Electronics Microstructure Science / Editors: N.J. Einspruck. New York: Academic Press. 1985. Vol. 12. P. 204-238.
5. Lowell J. // J. of the Vacuum Science and Technology B. 1996. Vol. 14. P. 248–254.
6. Hasenack C.M., Mansano R.D. // J. of the Vacuum Science and Technology B. 1996. Vol. 14. No.1. P. 538–542.
7. Pearce C.H. // Microelectronic Materials and Processes, Cactelvechio Pascoli, June 30–July 11, 1986. Kluwer Academic Publisher, 1989. P. 293–303.
8. Пилипенко В.А., Вечер Д.В., Поняров В.В. и др. // Вестник БГУ. 2007. Сер. 1. № 2. С. 39–42.